

Session juin 2001

# La gestion des dangers d'avalanches en Valais: Pertinence d'un SIRS intégrant les projets de défense



Le Valais romand  
au travers de ses avalanches

*transparent*

Médiathèque VS Mediath



1010630202

3855846

Mémoire présenté par :  
Géraldine Cavin

②  
Directeur de mémoire :  
E. Reynard



05/452



*A ma famille*

# Table des matières

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX	I
LISTE DES POSTERS	I
LISTE DES ANNEXES	II
ABREVIATIONS	II
REMERCIEMENTS	III

<b>I PARTIE INTRODUCTIVE</b>	<b>1</b>
------------------------------	----------

1 INTRODUCTION	3
2 PROBLEMATIQUE	7
3 METHODOLOGIE	9

<b>II CADRE THEORIQUE D'ETUDE</b>	<b>11</b>
-----------------------------------	-----------

4 LES DANGERS NATURELS ET L'EVOLUTION DE LEUR GESTION	13
4.1 LES ALPES ET LE VALAIS : UN MILIEU A FORTES CONTRAINTES	13
4.1.1 Géomorphologie et processus induisant des dangers naturels	13
4.1.2 Climat et topographie : deux aspects indissociables en régions de montagne	15
4.1.3 Les Alpes : des régions propices aux dangers naturels	19
4.1.4 Dangers naturels : définition des concepts	20
4.2 HISTORIQUE DE LA PRISE EN COMPTE DES DANGERS NATURELS	21
4.2.1 Introduction	21
4.2.2 Le XVIIIe : origine de la notion de « sécurité » : une gestion traditionnelle – rétroactive	22
4.2.3 1800-1850 : premières mesures législatives	23
4.2.4 1850-1950 : passage à un mode de gestion étatique centralisé – « mono-acteur »	24
4.2.5 1950-1980 : vers une gestion mathématique et financière des risques	27
4.2.6 Les années 1980 : passage progressif de la « conquête » à la « recherche de la sécurité »	29
4.2.7 1990-2000 : vers une gestion globale des dangers ? Réflexions et perspectives	31
4.3 CONCLUSION INTERMEDIAIRE : LES SIRS, UN OUTIL DE GESTION ?	33

<b>5 LES SIRS : UNE SOLUTION POUR LA GESTION DES DANGERS NATURELS ?</b>	<b>35</b>
5.1 FONDEMENTS THEORIQUES DES SIRS	35
5.1.1 Définitions et terminologie	35
5.1.2 Historique des Systèmes d'Information Géographiques	37
5.1.3 Fonctionnalités des SIRS, traitements et domaines d'application	39
5.1.4 Typologie des SIRS	44
5.1.5 Composantes principales et architecture des SIRS :	47
5.1.6 Modélisation des données spatiales	50
5.2 FONDEMENTS THEORIQUES DES SGBD	53
5.2.1 Les SGBD : un partage des données	53
5.2.2 Modélisation des données attributaires	54
5.2.3 L'algèbre relationnelle : troisième composante des SGBDR	56
5.3 ETAPES DE LA MISE EN PLACE D'UN SIRS	57
5.4 LES SIRS, UN OUTIL DE GESTION DES DANGERS NATURELS ? PRESENTATION DU « SIRS DANA »	60
5.4.1 SIRS DANA : but de conception et architecture	61
5.4.2 SIRS DANA : données et traitements	63
5.5 CONCLUSION INTERMEDIAIRE : LES SIRS COMME OUTIL DE GESTION	65

<b>III DE L'AVALANCHE A LA PRISE EN COMPTE DU DANGER EN VALAIS</b>
--

**67**

<b>6 LES AVALANCHES</b>	<b>69</b>
6.1 LE MANTEAU NEIGEUX ET SES METAMORPHOSES	69
6.2 INCIDENCE DES CONDITIONS TOPOGRAPHIQUES ET CLIMATIQUES	71
6.3 CLASSIFICATION DES AVALANCHES	72
6.4 LES SINISTRES D'AVALANCHES DANS LES ALPES ET EN VALAIS	74
<b>7 LA GESTION DES DANGERS D'AVALANCHES EN VALAIS</b>	<b>77</b>
7.1 PREMIERES MESURES ET EVOLUTION	77
7.2 LA GESTION ACTUELLE DES DANGERS D'AVALANCHES EN VALAIS	80
7.2.1 Aspects législatifs	81
7.2.2 Mesures de planification – protection passive, long terme	82
7.2.3 Mesures de protection – protection active, long et moyen terme	84
7.2.4 Mesures de prévention – protection passive et active, court terme	85
7.3 EVALUATION DE LA GESTION ACTUELLE DES DANGERS D'AVALANCHES EN VALAIS	87

<b>8 LE SIRS AVALANCHES</b>	<b>89</b>
8.1 INTRODUCTION : HISTORIQUE ET OBJECTIFS	89
8.2 ARCHITECTURE DU SIRS AVALANCHES	90
8.3 MODELE DE DONNEES GRAPHIQUES : PRESENTATION, ORIGINE ET STRUCTURE DE L'INFORMATION	92
8.4 MODELE DE DONNEES ATTRIBUTAIRES	93
8.4.1 Présentation et origine des données	93
8.4.2 Structure des données : présentation du modèle relationnel	94
8.5 TRAITEMENTS	97
8.6 CONCLUSION INTERMEDIAIRE : ETAT DE REALISATION AVANT LE MEMOIRE	98
<b>9 PERTINENCE D'UN SIRS INTEGRANT LES DONNEES SUR LES OUVRAGES DE PROTECTION</b>	<b>101</b>
9.1 LES OUVRAGES DE DEFENSE EN VALAIS	101
9.2 SIRS REALISATIONS : INTRODUCTION – RAPPEL DES ETAPES	105
9.3 ANALYSE DES BESOINS ET DE L'EXISTANT – 1 <sup>ERE</sup> ETAPE	107
9.3.1 Besoins et traitements désirés	107
9.3.2 Analyse de l'existant et données nécessaires	111
9.4 ETUDE DE FAISABILITE 2 <sup>EME</sup> ETAPE	114
9.4.1 Données graphiques	114
9.4.2 Données attributaires	117
9.4.3 Bilan général du SIRS – Réalisations	121
9.5 MODELISATION, ADAPTATION, PROGRAMMATION – 3 <sup>EME</sup> & 4 <sup>EME</sup> ETAPES	122
9.6 5 <sup>EME</sup> ETAPE : DEVELOPPEMENT	125
9.7 MAINTENANCE ET EXPLOITATION : PREMIERS RESULTATS – 6 <sup>EME</sup> ETAPE	126
9.7.1 Maintenance – fonctions de saisie de mise à jour	126
9.7.2 Exploitation – gestion, production, édition	127
<b>IV PARTIE CONCLUSIVE</b>	<b>149</b>
<b>10 SYNTHESE GENERALE</b>	<b>151</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES – SOURCES GRAPHIQUES</b>	<b>155</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>161</b>

## Liste des figures et tableaux

Fig. 1	Typologie des SIRS et utilisateurs	46
Fig. 2	Les composantes informatiques d'un SIRS	47
Fig. 3	Structure générale du SIRS-DANA	62
Fig. 4	Evolution du nombre de projets de protection et des devis de 1950 à nos jours (en Valais)	79
Fig. 5	Structure du SIRS Avalanches : organisation des données et produits	91
Fig. 6	Structure simplifiée du modèle logique du SIRS Avalanches : relations et clés	95
Fig. 7	Etapes de mise en œuvre d'un projet de défense	102
Fig. 8	Démarche suivie pour l'évaluation de la pertinence du « SIRS Réalisations »	106
Fig. 9	Production d'information au moyen d'opérateurs topologiques - copie d'écran	133
Fig. 10	Sélection d'informations spatiales et thématiques au moyen d'opérateurs topologiques - copie d'écran	133
Fig. 11	Sélection d'informations par recouvrement de plusieurs thèmes graphiques - copie d'écran	138
Tabl. 1	Propriétés des modes de représentation « objet » et « image »	52
Tabl. 2	Classification des avalanches	74

## Liste des produits cartographiques

Poster 1	<b>Valais romand - routes cantonales</b>	
	Evaluation générale des déficits de protection	130
Poster 2	<b>Valais romand - zones d'habitation</b>	
	Evaluation générale des déficits de protection	136
Poster 3	<b>Evaluation d'un projet de défense : Bourg-St-Pierre</b>	140
Poster 4	<b>Valais romand - mesures sylvicoles</b>	
	Montant total des devis par commune depuis 1946	144
Carte 5	<b>Valais romand - projets de protection</b>	
	Montant total des devis par commune depuis 1946	146
Poster 6	<b>Valais romand - projets de protection</b>	
	Réalisations en cours : état des coûts et importance	148
Transparent	<b>Valais romand - Communes étudiées</b>	fin

## Liste des annexes

Annexe 1	Inventaire des ouvrages de défense initial (1990), exemple de fiche (Excel)
Annexe 2	Cadastre des avalanches 2000 : Evénements, Descriptions, Réalisations, exemple de fiche (Access)
Annexe 3	Modèle logique de données initial du SIRS Avalanches
Annexe 4	Modèle logique de données modifié du SIRS Avalanches
Annexe 5	Lois fédérales
Annexe 6	Lois cantonales
Annexe 7	Lois cantonales spécifiques à une gestion de crise
Annexe 8	Relation coûts-efficacité de WILHELM (1997) sur les voies de communication

## Abréviations

AM/FM	Automated Mapping / Facility Management system
CAO	Logiciels de Cartographie Assistée par Ordinateur
CECA	Cellule de secours pour le cas de catastrophe
CCDA	Commission Cantonale Dangers Avalanches
CREALP	Centre de Recherche sur l'Environnement Alpin
DAO	Logiciels de Dessin Assisté par Ordinateur
EMCC	Etat-major civil de conduite
IFENA (= SLF)	Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches, Davos
ISM	Institut suisse de météorologie
FNP	Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage
OFEFP	Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage
OFT	Office fédéral de topographie
SAT	Service de l'aménagement du territoire, Etat du Valais
SFP	Service des forêts et du paysage, Etat du Valais
SGBD	Système de Gestion de Base de Données
SGBDR	Système de Gestion de Base de Données Relationnelle
SI	Système d'Information
SIG	Système d'Information Géographique
SIRS	Système d'Information à Référence Spatiale
SIRS DANA	Projet SIRS dangers naturels du canton du Valais (intégration des SIRS avalanche, géologie, hydrologie)
SLF (= IFENA)	Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos
SQL	Structured Query Language: langage de requêtes, de manipulation et de définition de données.
SRCE	Service des routes et cours d'eau, Etat du Valais

## Remerciements

Arrivée au terme de ce mémoire, j'ai le plaisir de diriger ma reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont apporté leur soutien au long des étapes parfois difficiles qui ont jalonné sa réalisation. J'aimerais ainsi remercier particulièrement :

mon directeur de mémoire Emmanuel Reynard pour m'avoir aiguillé dans l'orientation de ce travail et soutenu tout au long de sa réalisation par ses conseils avisés. Merci également vivement pour les abondantes connaissances géographiques et les bons moments apportés au cours de ces six années d'étude, passées sous le signe de l'amitié ;

M. Charly Wuilloud qui m'a fourni le thème de cette étude et sans qui le présent rapport n'aurait jamais vu le jour. Qu'il trouve ici ma profonde reconnaissance pour tout le temps consacré et les moyens mis à disposition ainsi que pour avoir également accepté de fonctionner en tant qu'expert de ce travail ;

le bureau Sittel et son accueil chaleureux : M. Yvan Vollet et Mme Dominique Dufort pour la mise à disposition de l'infrastructure logistique et technique nécessaire à la réalisation de cette étude. M. Alexandre Cerruti pour sa disponibilité, ses conseils avisés, son soutien pratique et amical dans la jungle de l'informatique ;

Mme Cornelia Winkler, MM. Jean-François Monnet et Dominique Schönbächler pour les précieuses informations transmises tant au niveau des données pratiques que des traitements offerts par les logiciels spécialisés ;

Mme C. Gansner, bibliothécaire de l'IFENA, pour les informations spontanément mises à disposition ;

je ne saurais également trop remercier mes amis pour leur appui moral, tout particulièrement Christian pour son aide précieuse, sa disponibilité et ses nombreux « sauvetages » au cours de ces mois de préparation ;

mes pensées vont également de tout cœur à mes parents et à ma sœur qui m'ont accompagnée au cours de toutes ces années d'étude et sur qui j'ai toujours pu compter. Merci pour le temps investi, mais surtout pour votre patience, vos encouragements et votre soutien !

# **I      PARTIE INTRODUCTIVE**



# 1 Introduction

Les milieux alpins ont de tout temps été soumis aux phénomènes naturels. Néanmoins, ceux-ci avaient des conséquences moindres pour les populations par le passé, car ces milieux n'étaient encore que peu fréquentés. Or, la croissance de la population et l'essor économique des régions de montagne, principalement dû à l'apparition du tourisme hivernal, ont eu d'importantes répercussions à la fois sur le milieu bâti et sur le milieu naturel. La dispersion de l'habitat et le développement souvent anarchique des constructions ont mis cet environnement très sensible sous pression: cette dégradation du milieu naturel conjuguée à des changements climatiques globaux ont accentué les phénomènes naturels. D'autre part, cette expansion territoriale et la valorisation des espaces montagnards ont induit un fort accroissement des risques, l'exposition au risque d'une population plus nombreuse et de biens de plus grande valeur ayant amené une augmentation des dégâts potentiels.

La gestion des dangers naturels s'est passablement complexifiée depuis le début du siècle passé avec l'apparition de ces multiples enjeux territoriaux. Elle doit actuellement prendre en compte de nombreux facteurs environnementaux, économiques, politiques et sociaux. Elle concerne donc un nombre considérable d'acteurs, tels que les divers services de l'État et les responsables des dangers, les experts et spécialistes de bureaux privés, les communes, etc. La gestion des dangers a subi de profonds changements, qui témoignent d'une volonté de trouver une méthode de gestion permettant de concilier les exigences d'une société actuelle qui considère le risque comme inacceptable et la sécurité comme un bien commun essentiel avec les contraintes imposées par les limites de la connaissance scientifique et par des ressources financières restreintes. En réponse à cette importance accrue d'une gestion des dangers, des législations ont été établies pour mettre en place une gestion préventive des dangers basée sur l'identification et l'évaluation des dangers potentiels, puis sur des mesures de planification, de protection et de gestion de crise. La Suisse est en effet un pays fréquemment touché par des catastrophes naturelles, comme le prouve la série d'événements exceptionnels survenus ces dernières années. Mentionnons entre autres les tempêtes Viviane et Lothar en 1990 et 1999 respectivement, l'inondation de Brigue en 1993, les avalanches de l'hiver 1998-99 et le glissement de Gondo en 2000, catastrophes qui engendrent des dommages directs et coûts indirects s'élevant en moyenne à 1.6 milliards de francs par année. La gestion des dangers en Suisse semble même s'orienter progressivement vers une prise en considération globale de tous les phénomènes naturels.

Nous avons décidé de nous consacrer à la gestion des dangers d'avalanches, la prise en compte de ces phénomènes naturels étant indispensable dans des régions alpines fortement anthropisées. Les avalanches constituent en effet un risque fréquent auquel les populations des régions montagnes sont confrontées chaque hiver. Il peut également prendre une ampleur considérable, comme nous avons récemment pu le constater au cours de l'hiver catastrophique de 1998-99. De nombreuses mesures de protection contre les avalanches ont été ainsi prises

afin de réduire ce risque, et ce, depuis les années 1950 principalement. Les responsables des dangers d'avalanches sont ainsi chargés de la gestion d'un grand nombre de projets et de données et sont également responsables de l'approbation de ces projets et de leur suivi.

Au vu de l'importance donnée à la gestion des risques naturels par notre époque, nous nous sommes demandée si les techniques informatiques actuelles ne pourraient pas offrir un outil répondant aux exigences d'une gestion des risques qui se complexifie et qui s'oriente vers une gestion globale des phénomènes naturels. Nous nous sommes ainsi tournée vers les systèmes d'information à référence spatiale (SIRS) qui sont des outils très utilisés actuellement dans les domaines de l'aménagement du territoire, de la gestion des ressources, etc. Ils offrent en effet une approche globale et dynamique de l'environnement ; ils permettent notamment le stockage et la gestion d'un volume important de données de toutes sortes et rendent possible une analyse simultanée de plusieurs couches d'informations spatiales.

Le choix de la région d'étude s'est porté sur le Valais pour plusieurs raisons. C'est premièrement une région alpine passablement peuplée et fréquemment touchée par les avalanches, comme l'a récemment montré l'hiver 1998-99. La gestion du risque lié aux avalanches y prend de fait une grande importance. Deuxièmement, l'Etat du Valais est justement en voie d'adopter les technologies SIRS dans un but de gestion des dangers. Sur demande du responsable des dangers naturels, M. Ch. Wuilloud, nous allons baser notre application pratique sur la gestion des ouvrages de protection, l'intégration de ces données dans un SIRS n'ayant pas encore été évaluée. Il a de plus émis plusieurs souhaits quant à l'intégration de nouvelles données spatiales relatives aux ouvrages qui nécessitent d'être pris en compte et analysés. Les ouvrages de défense sont en effet un aspect essentiel de la gestion des dangers d'avalanches : l'augmentation récente des projets de mesures de protection et de prévention rend en effet une vision globale de plus en plus difficile, de par un volume croissant de données à gérer. De plus, l'évaluation de ces projets va devenir de plus en plus nécessaire en raison de finances limitées.

L'objectif de ce mémoire est ainsi d'évaluer la pertinence d'un « SIRS Réalisations » comprenant les données sur les ouvrages de défense : ce sera en grande partie une approche méthodologique sur la mise en place d'un tel système. Nous allons tâcher de l'adapter aux désirs et besoins du responsable de la section dangers naturels du Valais, et ainsi évaluer la faisabilité de ses demandes. Nous opérerons un suivi de la réalisation de ce SIRS, afin qu'il comble au mieux les attentes du gestionnaire des ouvrages de protection.

Notre étude sera composée de deux grands volets : en premier lieu, deux parties théoriques exposeront le contexte général dans lequel s'insère la gestion des ouvrages de protection contre les avalanches en Valais. Nous commencerons ainsi par présenter l'ensemble géographique étudié et ses caractéristiques induisant des dangers naturels, puis l'évolution de la prise en compte de ces dangers en Suisse et plus spécialement en Valais. Cette première partie théorique justifiera la nécessité d'une gestion des risques, qui se doit d'être de plus en plus efficiente. La deuxième partie de cet ensemble théorique traitera des « systèmes

d'information à référence spatiale » : y seront précisés non seulement leurs finalités mais également des bases méthodologiques nécessaires pour leur conception. Nous exposerons finalement les potentialités des SIRS dans le domaine de la gestion des dangers naturels en présentant le projet valaisan « SIRS DANA » (SIRS dangers naturels). Ce premier volet aura ainsi défini le cadre du travail et posé les bases à la réflexion.

Le deuxième volet de cette étude permettra de préciser la nécessité d'une gestion des avalanches en Valais et d'exposer son mode de fonctionnement. Nous présenterons les acteurs et organismes impliqués de même que les divers types de mesures de protection et de prévention possibles. Nous pourrions ainsi préciser les tâches des responsables de cette gestion. En conclusion de ce chapitre, la présentation du projet SIRS avalanches, qui est actuellement en cours de réalisation, mettra en évidence le changement de mode de gestion qui est en voie de se mettre en place.

La deuxième partie de ce volet concernera l'évaluation de la pertinence de ces systèmes en relation avec la gestion des données sur les ouvrages de protection en Valais. Nous commencerons par une brève présentation des questions relatives aux ouvrages de protection, techniques et sylvicoles, ce qui nous permettra de démontrer l'importance de cet aspect au sein de la gestion des dangers d'avalanches. Nous passerons ensuite à l'évaluation d'un SIRS sur les ouvrages de protection. Afin de jauger de sa pertinence, nous avons suivi une démarche recommandée par les théoriciens composée de plusieurs étapes essentielles. Nous présenterons donc notre réflexion selon cette structure.

## 2 Problématique

Le Valais en tant que région alpine est passablement concerné par les dangers naturels, dont les avalanches. Ces phénomènes touchent en effet des milieux fortement anthropisés, notamment depuis l'apparition du tourisme hivernal. Il en résulte un risque fréquent et important. De nombreuses mesures ont par conséquent été mises en place au cours de la deuxième moitié du XXe siècle : elles ont permis de limiter passablement les conséquences dues aux avalanches. Mais l'Homme n'est toujours pas à l'abri de ces dangers, comme l'a dernièrement démontré l'hiver 1998-99.

Les questions de protection et de prévention des dangers d'avalanches gardent ainsi une importance primordiale malgré toutes les mesures réalisées. M. François Dufour, le responsable de l'antenne valaisanne de l'IFENA, en est conscient : il mentionne qu'il est essentiel de « perfectionner nos mesures » et il voit la nécessité de passer à « une gestion intégrée des risques et des mesures de protection/prévention ». Il conseille également une augmentation des ouvrages de construction et le développement de concepts d'entretien. En effet, de nombreux ouvrages de construction ancienne vont bientôt nécessiter des rénovations. Il met aussi l'accent sur l'entretien des forêts assurant une fonction de protection (DUFOUR 1999 : 35-36). Le responsable de la section Dangers Naturels de l'Etat du Valais, M. Charly Wuilloud, a aussi donné quelques propositions d'actions dans le futur après l'hiver 1999 : selon lui, il serait entre autres nécessaire de « définir plus précisément le but de protection, déterminer des priorités, améliorer les bases de décision pour les mesures préventives et réduire autant que possible les lourdeurs administratives » (WUILLOUD 1999a : 46).

On voit ainsi se profiler de nombreux problèmes et objectifs en ce qui concerne la gestion des ouvrages de protection contre les avalanches, lesquels risquent de complexifier passablement les tâches des responsables de ces dangers. Par ailleurs, l'augmentation du nombre de projets de construction et de rénovation d'ouvrages vont générer une masse considérable d'informations à gérer : ces projets doivent être suivis, mis à jour et finalement archivés.

Nous nous sommes donc interrogée sur les capacités d'un SIRS à répondre à ces nouveaux besoins. Ces technologies récentes sont en effet de plus en plus appréciées et utilisées dans les domaines en relation avec l'environnement, notamment pour des questions de gestion et d'analyse de données à caractère spatial. Le canton du Valais est par ailleurs récemment entré dans cet élan en décidant de mettre en œuvre un SIRS pour la gestion des données sur les avalanches, actuellement en cours de réalisation. Néanmoins, malgré la nécessité de prendre en compte les mesures de protection dans la gestion des dangers, la partie concernant les ouvrages a été conceptualisée mais non réalisée. D'autre part, ces informations devaient être intégrées au SIRS Avalanches en tant que données attributaires uniquement. Ne serait-il pas possible d'utiliser plus pleinement la technologie des SIRS afin de répondre aux besoins exprimés ci-

dessus concernant la protection contre les avalanches ? De tels systèmes devraient en effet pouvoir offrir des outils facilitant les tâches des responsables des dangers.

Est-il ainsi possible de faire du « SIRS Réalisations » non seulement un outil d'aide à la gestion, mais également un outil d'aide à la décision ?

Notre étude va ainsi tenter de définir la pertinence et la faisabilité de mise en œuvre d'un SIRS permettant de seconder les responsables de la protection contre les avalanches dans leurs prises de décision et tâches de gestion. Afin de répondre à ces deux questions, il nous sera nécessaire de commencer par déterminer plus précisément leurs tâches et besoins principaux. Nous devons également réfléchir sur les fonctionnalités des SIRS et la méthode à adopter pour évaluer la pertinence et faisabilité de ce projet.

### 3 Méthodologie

Nous avons choisi une approche allant du général au particulier pour présenter les résultats de notre travail. Une telle démarche permet de bien préciser les notions théoriques et méthodes utilisées par la suite dans le cadre de l'application pratique. Pour effectuer cette recherche, nous avons utilisé divers instruments de travail que nous allons brièvement présenter dans ce chapitre.

Dans un premier temps, nous avons consulté de nombreux ouvrages ayant trait d'une part aux caractéristiques géomorphologiques et aux conditions climatiques des Alpes ainsi qu'à la question de la gestion des risques dans ces milieux, et d'autre part aux systèmes d'information géographique et aux bases de données. Des documents de divers types ont été consultés à ce propos : des ouvrages théoriques généraux, des recueils d'articles, des rapports de recherche (PNR 31), des articles spécialisés, des travaux de thèse, diplôme post-grade et de mémoire ainsi que des polycopiés de cours. Quelques ouvrages d'orientation historique et des lois fédérales et cantonales ont également été consultés pour la partie concernant la gestion des dangers.

D'autres documents également de sources très diverses nous ont ensuite permis de cerner les questions traitant des avalanches et des mesures de protection: des ouvrages théoriques sur les avalanches, complétés par des articles et ouvrages de recherche plus techniques de l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches. Des publications du Service des forêts et du paysage de l'Etat du Valais ainsi que de nombreux rapports de synthèse et conférences réalisés par le responsable de la section Dangers Naturels du Valais ont également fourni des informations utiles à la réalisation de cette partie sur la gestion des avalanches.

En ce qui concerne notre application pratique sur les SIRS, nous avons décidé de suivre une démarche de conception des SIRS selon une série d'étapes, telle que proposée dans de nombreux ouvrages théoriques. Cette méthode a ainsi structuré la présentation de notre application pratique.

Afin de récolter des informations sur la disponibilité et la qualité des données, nous avons consulté de nombreux documents relatifs aux projets de construction d'ouvrages paravalanches, de même que des lettres, mandats et rapports techniques sur le SIRS avalanches principalement réalisés par le bureau privé mandaté pour son suivi. Nous avons aussi fait usage de manuels d'application pratique sur les logiciels ArcView et Access et reçu des indications essentielles et conseils précieux donnés par le mandataire.

Finalement, des entretiens divers ont non seulement permis d'orienter la direction du mémoire mais ont également donné des indications fort utiles, entre autres sur la qualité informative des données et leurs méthodes d'acquisition : mentionnons les nombreuses discussions avec M. Ch. Wuilloud, responsable de la section Dangers Naturels, avec les consultants chargés du mandat, MM. A. Cerruti et Y. Volet, avec qui nous avons approfondi et débattu de la structure des

données. Notons également les contacts avec M. D. Schönbächler, responsable de la mise à jour des données de l'inventaire des ouvrages et avec Mme C. Winkler, collaboratrice d'un bureau d'ingénieur forestier à Brigue et responsable de la comparaison entre divers types de projets paravalanches. Enfin, les conseils avisés prodigués par notre directeur de mémoire, E. Reynard.

## **II CADRE THEORIQUE D'ETUDE**



## **4 Les dangers naturels et l'évolution de leur gestion**

Notre étude concernant la gestion des ouvrages de défense au moyen d'un système informatique se situe dans le domaine de la gestion des dangers d'avalanches dans le canton du Valais. Afin de se rendre compte de l'importance d'une telle gestion dans cette région, il est essentiel de situer le Valais dans un contexte plus général. C'est pourquoi nous allons initier cette étude par une présentation des Alpes et du Valais, puis des caractéristiques géomorphologiques, topographiques et climatiques spécifiques aux milieux de montagnes qui font de cet ensemble géographique un milieu naturel sensible et propice aux dangers naturels. La deuxième partie de ce chapitre comportera une présentation des origines et de l'évolution de la prise en compte des dangers naturels dans le but de préciser les implications d'une telle gestion et de contextualiser la gestion actuelle des dangers d'avalanches en Valais.

### **4.1 Les Alpes et le Valais : un milieu à fortes contraintes**

#### **4.1.1 Géomorphologie et processus induisant des dangers naturels**

La chaîne des Alpes est le massif montagneux le plus haut (le sommet le plus élevé étant le Mont Blanc à 4807 mètres) et le plus densément peuplé d'Europe avec ses 20 millions d'habitants. L'arc alpin s'étend sur 1'000 kilomètres de long et occupe une superficie de 250'000 km<sup>2</sup> : il résulte d'une orogénèse commencée au Crétacé (il y a environ 30 millions d'années) qui n'est d'ailleurs toujours pas terminée à l'heure actuelle. En Suisse, les Alpes ont une orientation pratiquement Ouest-Est et sont relativement étroites avec une largeur totale inférieure à 100 kilomètres. Elles sont divisées par deux vallées longitudinales larges et profondes, celles du Rhône et du Rhin. Ce sont des voies de communications importantes et c'est là que se concentre la majeure partie des villes et villages. Quant aux vallées transversales, d'axe Nord-Sud, elles sont plus étroites, profondes et très encaissées. Leur altitude moyenne est élevée : elles relient en effet les régions des cols au fond des vallées principales.

Le Valais se situe dans les Alpes Centrales, région de l'arc alpin comportant les pentes les plus déclives et les sommets et cols les plus élevés. C'est ainsi une région caractérisée par d'importantes différences d'altitude : d'un niveau de base très bas dans la vallée du Rhône (qui se situe à des altitudes comprises entre 370 mètres au bord du Lac Léman et 680 mètres à Brigue), on passe à des altitudes supérieures à 4000 mètres (le plus haut sommet du Valais étant la Pointe Dufour à 4634 mètres). Il est également important de mentionner que plus de la moitié de la surface totale du Valais se trouve à des altitudes supérieures à 2000 mètres,

avec une moyenne générale de 2290 mètres en amont de Martigny (WUILLOUD (c) : 4). C'est ainsi un canton essentiellement montagnard soumis aux conditions extrêmes de haute altitude. On observe une certaine dissimilarité entre les deux rives du Rhône. Premièrement, les massifs en rive gauche sont plus élevés : ils constituent la ligne de faite principale des Alpes, avec une moyenne altitudinale située aux environs de 3200 mètres du col de la Furka à celui de Balme, soit à 2700 mètres au-dessus de la vallée du Rhône. En rive droite et en aval de la cluse de Martigny, les chaînes (Préalpes et Alpes Bernoises) sont quant à elles moins élevées et culminent à des altitudes aux environs de 3000 mètres. Deuxièmement, les vallées sont plus nombreuses et de plus grande ampleur en rive gauche. C'est un paysage alpin qui a subi de profondes modifications au cours du temps. Nous allons présenter quelques-uns des facteurs responsables de cette évolution morphologique, dans le but de prendre la mesure de l'importance des processus et phénomènes naturels agissant sur ce milieu.

Le passage des glaciers pendant le Quaternaire (principalement au Würm) a fortement modifié le paysage alpin : il a surcreusé les vallées, rendu les crêtes aiguës, donné une forme pyramidale aux sommets et favorisé une augmentation des pentes (BAECHLER 1992 : 104). La forte décompression due à leur déglaciation rapide pendant le Tardiglaciaire a par la suite induit un déséquilibre des versants, propice aux mouvements gravitaires, de même que la création et l'élargissement de fissures, ce qui a favorisé une altération chimique des roches grâce à une pénétration facilitée de l'eau et de l'air. A noter également des processus d'altération physique des roches, tels que la thermoclastie et la gélifraction qui provoquent un éclatement des roches (TESAR 1999 : 16-29). Ces processus d'érosion et d'altération des roches superficielles, intenses pendant le Tardiglaciaire, sont encore actifs aujourd'hui. Ils contribuent aux modifications morphologiques en fragilisant les roches.

Les régions alpines se caractérisent ainsi par une abondance de matériel rocheux pouvant être pris en charge, ce qui favorise les phénomènes<sup>1</sup> gravitaires tels que les éboulements et les glissements. Les pentes alpines étant de plus très déclives, les forces de la gravitation prennent une ampleur considérable et rendent les processus gravitaires primordiaux quant à l'évolution morphologique de ces versants. Ces derniers sont caractérisés par une dynamique qui est source importante de dangers naturels<sup>2</sup> : ils subissent l'influence de processus d'érosion, de transport et de sédimentation. C'est néanmoins la combinaison de ces caractéristiques géomorphologiques, géologiques et topographiques avec les conditions climatiques spécifiques aux milieux de montagnes qui accentue l'importance des phénomènes naturels. Les milieux de montagne sont en effet sujets à un climat souvent extrême qui joue un rôle important quant aux phénomènes naturels, notamment en ce qui concerne les avalanches, phénomène étudié dans ce travail.

---

<sup>1</sup> Une définition de ce terme sera donnée dans le chapitre 4.1.4

<sup>2</sup> Une définition de ce terme sera donnée dans le chapitre 4.1.4

#### **4.1.2 Climat et topographie : deux aspects indissociables en régions de montagne**

Les conditions climatiques des régions de montagnes sont très complexes et dépendent de nombreux facteurs souvent liés à la topographie. Même si une présentation complète du climat des milieux alpins n'est pas possible dans le cadre de ce travail, nous allons tout de même essayer de donner une idée générale des caractéristiques climatiques des Alpes et du Valais. Nous aborderons le sujet en considérant premièrement l'influence de l'arc alpin sur le climat à une échelle globale : nous présenterons brièvement l'importance de l'emplacement géographique de l'arc alpin par rapport au continent et son influence sur les courants atmosphériques généraux. Nous passerons ensuite à une échelle plus régionale afin de révéler les grandes différences climatiques au niveau des Alpes en Suisse, et verrons que la position des divers massifs joue à nouveau un rôle déterminant. Enfin, nous considérerons une échelle encore plus petite, en prenant en compte l'influence de caractéristiques topographiques locales telles que l'altitude, l'orientation et la déclivité. Nous présenterons enfin les divers étages de végétation, qui sont également une bonne indication du climat. Nous avons mis l'accent sur les précipitations, qui est un aspect concernant plus spécialement notre domaine d'étude, soit les avalanches.

##### **Echelle globale**

Si l'on considère en premier lieu une échelle globale, on note que les chaînes de montagnes au relief prononcé font office de barrière : elles modifient les vents généraux par des effets mécaniques et thermiques et dévient les courants atmosphériques en les canalisant. Une partie de ces courants vont contourner les reliefs : le versant sous le vent sera ainsi caractérisé par une baisse de pression et de l'afflux d'air. Une convergence des courants à l'approche d'un massif (déviation verticale) va quant à elle induire une accélération de ceux-ci. De plus, comme les reliefs induisent une augmentation de la rugosité du sol et du frottement on notera ainsi des turbulences à l'avant et à l'arrière de cet obstacle. Les reliefs importants sont par conséquent caractérisés par un écoulement turbulent de l'air qui se fera principalement sentir sur le versant sous le vent. La compression verticale des masses d'air au-dessus des montagnes favorise également une accélération des vents. Par conséquent, les massifs montagneux seront caractérisés par la présence de vents violents.

Le relief important des Alpes constituant ainsi un barrage aux perturbations climatiques, les masses d'air sont forcées de s'élever. Une telle ascendance d'origine orographique va induire un refroidissement de l'air avec l'altitude, et ainsi une condensation de l'humidité. Il y aura des précipitations une fois le degré de saturation atteint. Les Alpes sont de la sorte caractérisées par des précipitations abondantes, souvent de forte intensité. L'orientation de la chaîne de montagnes et des divers massifs par rapport aux régimes climatiques induit cependant de profondes disparités quant à la répartition des précipitations sur l'ensemble de l'arc alpin, que ce soit à une échelle globale ou régionale, voire même locale. La position géographique des diverses régions dans l'arc alpin détermine en effet leur exposition aux perturbations. Ainsi, les versants Nord et Sud des Alpes en dressant les premières barrières aux perturbations qui amènent la majeure partie des précipitations, sont par conséquent plus exposés aux vents

humides océaniques et reçoivent plus de précipitations que les régions intra-alpines, telles que le Valais. De grandes variations s'observent donc au sein de l'arc alpin. On constate par exemple des hauteurs d'eau moyennes annuelles de 500 à 800 mm/an dans les vallées du Valais Central, alors que les vallées du versant Nord et Sud des Alpes reçoivent respectivement de 1200 à 2000 mm/an et de 1500 à 2300 mm/an de précipitations. Les régions intra-alpines se caractérisent donc par un climat plus continental, avec des précipitations moindres et un ensoleillement plus important que les versants Nord et Sud des Alpes (FALLOT 2000 : chap. 7, 21).

Le degré de continentalité, qui est lié à la distance aux océans, a également une certaine importance quant aux différences climatiques globales. Comme les masses d'air humides océaniques perdent de leur humidité au fur et à mesure qu'elles pénètrent sur le continent, et ce, spécialement au contact des premières chaînes de montagnes, les régions les plus éloignées seront caractérisées par un climat plus sec. La diminution nette des précipitations en direction de l'est au sein de l'arc alpin témoigne de cet effet de continentalité.

### Echelle régionale

Deuxièmement, si l'on considère le climat à l'échelle du canton du Valais, on constate aussi de profondes différences au sein même de cette région, lesquelles sont, non seulement également liées à la situation géographique des divers massifs, mais aussi aux diverses caractéristiques topographiques. La diminution des précipitations vers l'est s'observe en particulier en rive gauche du Rhône (de Chamonix-Illeaz au Simplon) : les chaînes de montagnes élevées des vallées latérales font successivement office de barrière à la pénétration des courants atlantiques humides. Ainsi, les vallées à partir du Val d'Entremont de même que la vallée du Rhône de Martigny à Brigue sont pauvres en précipitations, les vallées d'Hérens, d'Anniviers, de Zermatt et de Saas, situées plus à l'Est, étant les régions les plus sèches (BEZINGE & BONVIN 1973). Mentionnons le cas du massif du Gotthard qui, de par une altitude élevée et une bonne exposition aux régimes nivométriques du Nord et du Sud des Alpes, enregistre les chutes de neige les plus abondantes. L'exposition aux régimes climatiques amenant les perturbations est ainsi un facteur essentiel dans la répartition régionale et locale des précipitations.

La topographie joue également un rôle important à cette échelle : les reliefs et surtout les vallées canalisent les vents de même que les masses d'air et induisent ainsi des différences climatiques régionales. La vitesse des vents sera modifiée selon les caractéristiques topographiques des vallées (resserrement, élargissement) ; une différence nette s'observant aussi entre les vallées et les sommets : les arêtes exposées et sommets isolés subiront des vents plus violents que les vallées qui sont plus protégées (BARRY 1992 : 61). De plus, les vallées favorisent le développement de brises thermiques régionales et locales, car les masses d'air se réchauffent et se refroidissent plus rapidement au-dessus des vallées que des plaines de par un volume d'air moindre. Notons enfin l'influence de la topographie quant aux effets de foehn : ces vents chauds et secs seront d'autant plus marqués que le massif montagneux est important, car c'est en s'élevant devant un relief que ces vents s'assèchent. Ils se réchauffent ensuite lorsqu'ils redescendent sur l'autre versant. La présence de foehn est l'une des

caractéristiques majeures des vallées alpines : on différencie le föehn du Sud, qui dévale les vallées du Nord des Alpes de celui du Nord, qui agit dans les vallées du Sud des Alpes. Les situations de föehn au printemps vont favoriser une fonte des neiges rapide et ainsi des dangers d'avalanches et de crues.

### Echelle locale

Finalement, nous allons observer les différences climatiques à une échelle plus restreinte : à nouveau, les caractéristiques topographiques jouent un rôle primordial. Notons en premier lieu l'importance de la topographie quant à la répartition des précipitations liquides et solides à une échelle locale : on constate une différence entre les sommets et les vallées qui sont moins exposées, de même qu'entre les versants « sous le vent » et « au vent », plus exposés aux masses d'air humides. L'observation des moyennes annuelles des précipitations en des points proches mais d'altitude et de situation différentes permet de se rendre compte de l'inégalité de leur répartition. On mesure par exemple des moyennes de plus de 2000 mm par an pour le col du Grand-St-Bernard (2469m), alors que le Val d'Entremont reçoit quant à lui des précipitations allant de 750 à 900 mm par an. Dans la vallée du Rhône, les valeurs se situent aux environs de 600 mm par an (BEZINGE, BONVIN 1973). Cette différence résulte non seulement de l'exposition aux perturbations (les sommets isolés et les arêtes exposées recevant de plus grandes quantités de précipitations), mais également de l'altitude. En effet, on constate une augmentation de la quantité et de l'intensité des précipitations avec elle : la diminution de la température avec l'altitude induit une diminution de la capacité hygrométrique et de l'humidité absolue de l'air. L'humidité relative de l'air va ainsi augmenter avec l'altitude et l'air sera plus rapidement saturé. Les reliefs seront donc caractérisés par un optimum pluviométrique (FALLOT 2000). De fait, malgré la position relativement abritée du Valais, on mesure néanmoins des précipitations importantes sur les cimes. Les hauteurs d'eau moyennes annuelles sur les sommets préalpins et alpins atteignent généralement des valeurs de 2000 à 3000 mm/an, les valeurs maximales se mesurant aux environs de 3000-3500 mètres (FALLOT 2000).

L'altitude a aussi une grande importance quant au type de précipitations : comme la température de l'air diminue avec l'altitude (de 0.6°C par 100 mètres en moyenne), la majeure partie des précipitations va tomber sous forme solide à partir de 2500 mètres d'altitude. A 3000 mètres, ce sont 80 % des précipitations totales annuelles qui sont sous forme de neige (BARRY 1992 : 19). On mesure en effet des températures moyennes annuelles de -4.4°C à 3000 mètres et de -1.6°C à 2500 mètres contre 7.8°C à 800 mètres pour le Valais. L'altitude moyenne des Alpes étant élevée, les précipitations neigeuses y sont donc abondantes : c'est ainsi une région constamment concernée par les avalanches.

L'orientation des versants et leur déclivité ont aussi des effets importants sur les climats locaux. On note de profondes différences climatiques locales entre les pentes d'orientation nord et sud : les pentes sud (adret) reçoivent un rayonnement solaire nettement supérieur que les pentes orientées nord (ubac) qui n'ont un ensoleillement direct en hiver qu'aux alentours de midi. Cette caractéristique est significative en ce qui concerne la limite supérieure de la neige : elle se situe environ 200 mètres plus haut sur les pentes sud et la hauteur de neige y est moindre.



L'altitude d'apparition des névés n'est pas seulement déterminée par l'orientation du versant, mais est également liée à la position géographique des régions dans l'arc alpin. Une tendance ouest-est se dégage à nouveau : plus l'on se déplace vers l'est, plus cette limite altitudinale est élevée : située aux environs de 2900 mètres pour Trient et le Val Ferret, elle se situe aux environs de 3200 mètres pour les Vals d'Hérens, d'Anniviers et de Zermatt (BEZINGE & BONVIN 1973 : 43-47). La limite d'apparition des névés est une caractéristique qui donne une bonne image du climat local des vallées. En ce qui concerne la déclivité, on constate que le rayonnement solaire diminue avec l'augmentation du degré d'inclinaison de la pente. L'orientation et la déclivité de la pente sont ainsi des paramètres qui ont un effet direct sur le nombre d'heures d'ensoleillement et sur la radiation globale annuelle reçus, ce qui va fortement conditionner la température du sol, la couverture de neige et l'évaporation à une échelle locale (BARRY 1992 : 11, 83).

### Végétation en milieu alpin

Avant de clore ce chapitre sur le climat des régions alpines, il est important de décrire brièvement la végétation de ces régions, celle-ci étant directement liée aux conditions climatiques et influençant les dangers naturels. L'étagement de la végétation est déterminé par l'altitude conjuguée avec l'abaissement graduel des températures. La végétation n'est néanmoins pas similaire pour toutes les régions alpines situées à même altitude. Comme nous l'avons vu, les Alpes se caractérisent par des différences climatiques régionales. Il en est de même en ce qui concerne la végétation : à une échelle globale, on observe une élévation de la limite supérieure de la forêt d'ouest en est. (BEZINGUE & BONVIN 1973 : 43-47). L'effet de la continentalité ne concerne donc pas seulement les précipitations mais bien les conditions climatiques générales. Nous verrons également que le climat plus clément du Valais a une influence sur l'étagement de la végétation : les seuils de végétation y seront à des altitudes légèrement supérieures.

On trouvera en premier lieu des forêts de feuillus puis des forêts mixtes de feuillus et conifères (étage montagnard) à des altitudes basses et moyennes. La limite altitudinale de cet étage se situe aux environs de 1500 mètres pour les régions du Nord des Alpes et vers 1700 mètres pour les régions plus abritées telles que le Valais. Vient ensuite l'étage subalpin, qui se caractérise déjà par une diminution de la végétation : les forêts à présent constituées de résineux (épicéas et sapins) font progressivement place aux alpages. La limite supérieure de la forêt, qui se situe aux environs de 1800 à 2000 mètres pour les régions du Nord des Alpes, signale plus ou moins le début de l'étage alpin. Notons à nouveau une limite légèrement plus haute pour le Valais, avec un maximum aux environs de 2200 mètres dans la région de Zermatt. Cet étage alpin s'étend jusqu'aux environs de 3000-3200 mètres ; la forêt y est absente et le couvert végétal réduit à des herbacées. Le vent prend ici toute son ampleur et on trouve déjà la présence de névés dans la partie supérieure de cet étage. L'étage nival est finalement celui des neiges éternelles et des glaciers (BÄR, in CASTELLE, et al. 1991 : 3.16). Ces divers « étages » vont être différemment concernés par les dangers naturels car la forêt joue un rôle protecteur en stabilisant le sol, absorbant une partie des précipitations, freinant le vent, diminuant le transport de neige et défavorisant le déclenchement de plaques de neige.

Les climats des régions de montagnes dépendent ainsi de nombreux paramètres étroitement liés, que ce soit à une échelle globale, régionale ou locale. La position de la région étudiée dans le massif alpin, sa topographie, l'altitude, et l'orientation des versants ont tous leur importance. Les régions montagneuses sont par conséquent caractérisées par des conditions climatiques très complexes et diversifiées selon les régions considérées : les divers sites ont leurs vents spécifiques, leur régime de précipitations et nébulosité. En conclusion, retenons surtout l'importance primordiale de l'altitude sur les climats des régions de montagne : elle détermine l'intensité, la quantité et le type des précipitations, de même que les températures. Les vents sont également plus violents en altitude. Toutes ces caractéristiques climatiques influencent le type de végétation, qui sera de fait également directement dépendante de l'altitude. Les différences climatiques locales les plus marquées s'observent ainsi surtout entre les fonds de vallées et les sommets, plus exposés aux vents et précipitations (de par leur position géographique et leur altitude plus élevée).

#### **4.1.3 Les Alpes : des régions propices aux dangers naturels**

Avant de clore ce chapitre, il est essentiel de brièvement mentionner quelques exemples des conséquences de cette influence conjointe sur les phénomènes naturels. Nous allons donc mentionner quelques types de phénomènes naturels fréquents dans les Alpes selon leur origine. Premièrement, de par leur altitude élevée, les régions alpines vont être caractérisées par des extrêmes de température importants, souvent en dessous de 0°C. Les processus tels que la thermoclastie et la gélifraction y seront donc très actifs et vont favoriser le débitage des roches, et ainsi des phénomènes tels que les éboulements. L'altitude induit également des précipitations liquides et solides abondantes et intenses qui vont provoquer des laves torrentielles et des avalanches. Comme ces phénomènes vont pouvoir prendre en charge d'importantes quantités de matériel (abondance de blocs rocheux débités, arbres, etc.), leurs conséquences seront souvent considérables. De plus, une importante quantité d'eau favorise des mouvements de terrain tels que les glissements en diminuant la cohésion du sol, la déclivité des pentes favorisant aussi et accélérant ces mouvements gravitaires. Enfin, la diminution de la végétation avec l'altitude accentue les phénomènes naturels : elle joue en effet un rôle protecteur contre les avalanches, contribue à la stabilisation du sol et intercepte une partie des précipitations. Comme les Alpes sont passablement anthropisées, ces phénomènes vont constituer des « dangers naturels ». Ces termes seront précisés au cours du prochain chapitre.

#### 4.1.4 Dangers naturels : définition des concepts

Toutes ces caractéristiques tant géologiques, géomorphologiques, topographiques que climatiques font des Alpes et du Valais des régions propices aux divers phénomènes naturels. Comme ils constituent des espaces fortement anthropisés, ces phénomènes deviennent des « dangers naturels » et « risques naturels ». Afin d'élucider ces termes que nous allons utiliser par la suite, nous allons tenter de les définir et de clarifier leurs significations parfois imprécises. Premièrement, la notion de « **phénomène** » est un terme relativement neutre qui décrit simplement un fait, un objet d'analyse. Il sera utilisé pour parler des divers faits et manifestations de la nature en tant que tels et n'implique par conséquent aucune interprétation liée à l'homme ou à ses activités.

EGLI (1999) classe ces phénomènes en trois types selon leur cause : les phénomènes **d'origine gravitaire**, qui sont localisés (avalanche, crue, lave torrentielle, glissement, éboulement, chute de bloc (rochers et glace), etc.), et des phénomènes spatialement diffus, **d'origine climatique** (sécheresse, tempête, foudre, grêle, vague de froid ou de chaleur) et **tectonique** (tremblement de terre liés à la surrection toujours active du massif alpin). La plate-forme « dangers naturels » de la Confédération et les services responsables des dangers de l'Etat du Valais les classent selon trois catégories légèrement différentes : les phénomènes hydrologiques ou météorologiques (orage, crue, vague de froid, avalanche, tempête, sécheresse ou vague de chaleur, et incendie de forêt), géologiques (séisme, mouvement de terrain) et biologiques (parasites) (PLANAT (a)).

Tous ces phénomènes peuvent constituer des « **dangers naturels** » au sens défini par LOUP (1999 : 21) : ce sont en effet « des phénomènes et influences de la nature susceptibles [de se produire et] de causer des dommages aux personnes, aux biens matériels, aux institutions et à l'environnement. » On parlera ainsi de « dangers naturels » lors d'une interférence entre « l'espace vital de l'homme et la zone des événements naturels » (KUNZ 1998 : 109-12). Ces dangers naturels affectant une portion de l'espace occupée par l'homme, ce dernier se verra ainsi confronté à un « risque ».

La plupart des auteurs consultés se rejoignent plus ou moins quant à leur définition de la notion de « **risque** » : celle de la Société helvétique des sciences naturelles, reprise par HEROLD-REVAZ et al. (1998 : 8), nous semble claire et précise : le « risque » correspond à « la valeur moyenne du dommage par unité de temps ». LOUP (1999 : 9) rejoint cette idée en définissant le risque comme « la grandeur et la probabilité d'occurrence d'un dommage ». Ce terme comprend ainsi une estimation quantifiée des dommages directs (tels que ceux affectant les personnes et les biens) et indirects (perturbations des diverses activités humaines, principalement économiques) occasionnés ou pouvant être occasionnés par un événement. L'aspect temporel fait partie intégrante de cette notion car pour définir le risque, il est essentiel de prendre en compte la probabilité d'occurrence du danger naturel, et ainsi, du dommage. Selon LOUP (1999 : 21), le risque correspond ainsi, « pour une situation de danger déterminée,



(...) au produit de la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux, par la valeur des éléments menacés et l'importance des dommages (vulnérabilité) ». Par conséquent, le risque est l'évaluation du danger et comprend deux aspects importants : « l'aléa (le danger) et la vulnérabilité » (WEBER 1991 : 16). Il nous semble néanmoins important de préciser que le risque ne se décrit pas seulement objectivement en termes de quantification des dommages (ou de la vulnérabilité) selon les caractéristiques du danger naturel, mais qu'il comprend également un pôle subjectif, du fait qu'il concerne une population. Ainsi, la vulnérabilité s'exprime aussi « en termes de pouvoir, de santé, de symboles » (HEROLD-REVAZ et al. 1998 : 8).

Les « **risques naturels** » sont par conséquent les risques encourus par l'homme dont l'origine est liée à des phénomènes naturels. On peut néanmoins ajouter que les risques naturels ne sont que rarement totalement liés aux forces de la nature, comme HEROLD-REVAZ, et al. (1998 : 8) le font remarquer : l'homme a sa part de responsabilité quant aux changements du climat et du milieu naturel. De même, ses actions et choix territoriaux peuvent également induire un accroissement du risque. Notons une différence entre les phénomènes diffus et localisés : le risque induit par ces derniers pourra être géré par l'homme. En effet, lorsque les portions du territoire soumises à un danger naturel peuvent être délimitées, comme il est généralement le cas pour les phénomènes gravitationnels, une intervention humaine sur ces phénomènes et un aménagement de l'espace en conséquence vont être possibles. Afin de mieux cerner cette notion de « gestion des risques », il est nécessaire de présenter les origines et l'évolution de la prise en compte des dangers et risques naturels. Nous allons donc continuer ce travail par un bref historique de la prise en compte des dangers et risques naturels en nous référant particulièrement aux débuts de cette gestion en Valais. Ce chapitre nous permettra ainsi de contextualiser la gestion actuelle des avalanches en Valais.

## 4.2 Historique de la prise en compte des dangers naturels

### 4.2.1 Introduction

Même si, comme nous l'avons vu, le milieu montagnard est un milieu à fortes contraintes (sévérité du climat, dangers naturels, aridité du sol et exploitation difficile de par la déclivité), les hommes l'ont toutefois colonisé depuis longtemps déjà (dès le Néolithique en ce qui concerne le Valais) et ont réussi à s'y adapter et à l'exploiter. Ils ont toujours été conscients des dangers naturels, mais dans un premier temps, ils les subissaient et les expliquaient en leur donnant comme origine une malédiction divine. Ces catastrophes naturelles étaient interprétées comme une punition de Dieu envers l'Homme : le récit du Déluge dans la Bible pourrait illustrer cette attitude envers les dangers naturels. Cette relation homme-milieu naturel va profondément se modifier au cours des siècles, l'homme devenant progressivement un « acteur » agissant sur l'environnement naturel. Nous allons donner les grandes lignes de ce changement des mentalités

au cours de ce chapitre, tout en mentionnant les grandes étapes du développement des régions alpines. On note en effet un certain lien de causalité entre l'évolution de la prise en compte des dangers naturels et l'anthropisation des espaces montagnards, les changements survenus au sein du milieu naturel ayant amené les populations à réfléchir toujours plus sur les dangers naturels. Nous ferons particulièrement référence au Valais, et pourrons ainsi replacer la gestion des dangers naturels de ce canton dans un cadre historique plus général.

Nous avons choisi de présenter les évolutions de la gestion des dangers et des régions alpines ensemble, afin de privilégier la chronologie. Une remarque doit néanmoins être faite quant aux intitulés des divers paragraphes : les dates proposées sont des approximations permettant de donner une idée « globale ». Il est en effet impossible de fixer une date « limite » : premièrement, l'évolution de la gestion des dangers ne s'est pas faite partout en même temps et deuxièmement, elle se fait généralement de manière progressive, les mentalités n'évoluant jamais du jour au lendemain. Notre critère pour déterminer ces dates s'est principalement basé sur la législation suisse et valaisanne. Nous avons aussi essayé de tenir compte des organismes responsables de la question des dangers naturels et de leurs objectifs aux différentes époques.

#### **4.2.2 Le XVIIIe : origine de la notion de « sécurité » : une gestion traditionnelle - rétroactive**

Au cours du XVIIIe siècle, la notion de « sécurité » est encore généralement toujours conçue comme « relative et hors d'atteinte de la volonté humaine » (BRIDEL et al. 1998 : 80). On notera toutefois que l'emplacement des habitations permanentes et de l'église à cette époque dans les Alpes n'était pas fruit du hasard, mais dénotait déjà d'un choix délibéré et réfléchi. Grâce à une forte interaction et influence entre le milieu naturel et humain, les diverses pratiques culturelles de la société de même que l'organisation du territoire étaient ainsi en grande partie déterminées par les conditions de la nature. La relation que les hommes entretenaient alors encore avec le milieu naturel dans lequel ils vivaient leur permettait ainsi d'élire des endroits relativement sûrs, ou considérés comme tels selon leurs connaissances empiriques. BRIDEL et al. (1997 : 80) constatent en effet les dégâts dus aux phénomènes naturels étaient alors principalement matériels, ce qui démontre que les zones d'habitat permanent n'étaient que rarement touchées et étaient par conséquent situées dans des zones relativement à l'abri des dangers. Cette « **gestion traditionnelle** » des dangers était caractérisée par des réactions et actions à posteriori : c'étaient les événements catastrophiques et les erreurs humaines qui amenaient une correction et une adaptation des décisions prises (de CRÉCY 1987). Une telle gestion, même si de type rétroactif démontre que les hommes avaient déjà une certaine notion d'un besoin de sécurité.

Cette prise de conscience d'une nécessité de la « sécurité » apparaît également en Suisse avant le XIXe siècle dans les conflits fréquents concernant l'exploitation de la forêt. La gestion de cette ressource était encore peu réglementée au niveau de l'Etat et se faisait ainsi de manière presque autonome par les sociétés locales. Les

prescriptions, statuts et règlements édictés par les communes afin de « sécuriser les villages » mettent en évidence l'opposition déjà présente entre les besoins de « [sécurité et de survie économique] » : le premier favorise une protection et conservation des zones de forêt au contraire du second qui prône une exploitation du bois, voire un défrichement (BRIDEL et al. 1997 : 80-1 ; HEROLD-REVAZ et al. 1998 : 19). Les sociétés locales, semblent donc s'efforcer de combiner l'entretien du milieu naturel et de ses potentialités économiques avec l'entretien de sa sécurité face aux risques naturels. Ce mode de gestion traditionnelle, typique des XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles, correspond plus ou moins au « **mode autarcique unitaire** » de gestion décrit par OLLAGNON (in de MONTGOLFIER & NATALI 1987 : 103) : il ne relève que de la responsabilité de la société locale et prend en compte la question du long terme.

Ce n'est qu'à partir de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle que les phénomènes naturels ont commencé à être pris en compte à un niveau central et que les premières mesures scientifiques et organisationnelles sont prises. En France, la Déclaration des Droits de l'Homme et du Citoyen de 1789 et de 1793 introduit la « sûreté » comme un « droit » : elle doit être accordée aux populations par la société. Ainsi commence le combat contre le risque. L'origine de la conception moderne de la sécurité et de notre rapport actuel au risque pourrait donc dater de ce siècle. Une évolution des mentalités face aux dangers a ainsi été initiée, comme le témoigne également une certaine diffusion des premières techniques et mesures de protection (BAILLY 1994 ; DOURLENS et al. 1991 : 13-20).

#### 4.2.3 1800-1850 : premières mesures législatives

Une longue présence humaine dans les régions alpines avait déjà imposé de fortes contraintes sur l'environnement naturel : le XIX<sup>e</sup> siècle les accentua. Ce fut la période la plus néfaste pour le milieu naturel alpin. C'est, d'une certaine manière, une époque charnière dans l'évolution du mode de vie des habitants de ces régions : auparavant, les hommes vivaient d'une agriculture vivrière, d'un élevage transhumant et d'artisanat et délaissaient les régions de haute altitude pendant la période hivernale. Mais ce système relativement fermé va subir de profondes modifications au cours du XIX<sup>e</sup> siècle avec la révolution industrielle et la forte croissance démographique. Les conditions de vie des populations montagnardes se sont transformées de manière significative : d'un mode de vie autarcique relativement respectueux du milieu naturel, on est passé à une surexploitation des ressources, la forêt ayant été la ressource naturelle la plus touchée. Or, des forêts denses et saines aident à la stabilisation des terrains, absorbent une partie des précipitations et jouent un rôle protecteur contre les avalanches dans la zone de départ de l'avalanche. La diminution des surfaces boisées de même que les changements climatiques induits par la fin du Petit Age Glaciaire ont ainsi amené une forte recrudescence des phénomènes naturels au cours de ce siècle, et tout particulièrement des événements d'inondations. Comme nous le verrons par la suite, il y aura ainsi un lien entre la politique forestière et celle de l'eau.

Cette prise de conscience d'un lien de causalité entre l'accroissement de ces dangers naturels et une déforestation intensive incite l'Etat du Valais à aborder le

problème de la conservation de cette ressource : il légifère ainsi sur les forêts dès 1803, de nombreuses lois sur les forêts et les dangers naturels se succédant par la suite (WUILLOUD (c) : 16). La loi cantonale valaisanne de 1826 sur la conservation et l'amélioration des forêts fait pour la première fois référence aux dangers d'éboulements et d'avalanches : la coupe de bois dans les zones menacées par ces dangers naturels est soumise à autorisation cantonale. Le passage au XIXe siècle signale donc les débuts de l'intervention de l'Etat dans le domaine des dangers naturels. Néanmoins, ces lois, de même que les décrets et arrêtés, n'étaient pas vraiment respectés car les communes étaient pauvres et l'exploitation forestière constituait un revenu important. La Confédération n'avait pas non plus d'influence sur l'évolution des forêts, la Constitution fédérale de 1848 ne contenant toujours pas de bases légales à ce propos. Par conséquent, les forêts ont tout de même été fortement défrichées au cours du XIXe, d'une part afin d'allouer plus de terres à une mise en culture et d'autre part pour l'exploitation du bois (chauffage, construction, etc.). Le conflit entre les besoins matériels d'exploitation de la forêt et ceux immatériels de sa conservation dans un but de protection est toujours présent. Il faudra attendre la deuxième moitié du siècle pour voir enfin un développement de la législation forestière dans le but de conserver ce patrimoine naturel et de prendre en compte ces dangers.

#### **4.2.4 1850-1950 : passage à un mode de gestion étatique centralisé – « mono-acteur »**

Les profonds changements induits au sein du milieu naturel par une exploitation de plus en plus intensive de l'environnement alpin et de ses ressources au cours du XIXe siècle va rendre la question des risques naturels et de leur gestion de plus en plus nécessaire au cours de cette deuxième moitié du siècle. L'essor économique des milieux alpins ne cesse en effet d'augmenter grâce, non seulement aux progrès scientifiques qui amènent de nouvelles techniques agricoles et industrielles, mais également à un développement important des axes de communications. Notons l'arrivée du chemin de fer à Sion en 1860 et à Sierre en 1868, l'effort routier alpestre significatif réalisé avec, par exemple, l'ouverture de cols internationaux comme la route de la Furka en 1866. Le tournant du XXe siècle voit aussi l'ouverture des premiers tunnels ferroviaires, dont le Saint-Gotthard en 1882 et le Simplon en 1906. Quant à l'économie valaisanne, elle subira également de profondes modifications, et ce, principalement entre 1880 et 1914, avec la découverte de l'hydroélectricité. Le développement de l'industrie chimique (électrochimie et électrometallurgie) a ainsi dynamisé le secteur de l'industrie dans les Alpes (ARLETTAZ 1976 : 47-9) : c'est la première révolution économique des Alpes. Une économie d'échanges va par conséquent progressivement succéder au mode de vie autarcique mené jusqu'alors, qui considérait l'agriculture comme le secteur essentiel de l'économie.

La seconde moitié du XIXe siècle est également marquée par l'arrivée du tourisme dans les Alpes et les premières stations alpines apparaissent au début du XXe : c'est l'époque du « thermalisme et [du] climatisme », ainsi que des débuts de l'alpinisme et de la pratique du ski (BARRAS 1987 : 141). Même si l'intérêt pour le tourisme croît dès les années 1920, ce n'est qu'à partir des années



cinquante que le tourisme va connaître son véritable essor économique grâce, en grande partie, à un intérêt croissant pour le tourisme hivernal.

Nous avons mentionné la recrudescence des phénomènes naturels ; à noter que leurs conséquences prennent également de l'importance : en effet, la révolution industrielle amène un premier accroissement des dommages potentiels en valorisant les régions alpines et favorisant une croissance démographique de même qu'une augmentation de la mobilité des populations grâce à l'amélioration des moyens de transport. Le besoin de sécurité prend ainsi de l'importance. Ces risques et enjeux accrus amènent des réflexions et études sur les divers intérêts économiques et sur les questions de sécurité dès la fin du XIXe. Le recueil de données et les statistiques commencent à intervenir dans le domaine de la prévention des risques, et on note la mise en place progressive, (généralement par l'Etat), non seulement de réglementations curatives et préventives, mais également de dispositifs de sécurité, tels que des institutions, systèmes et méthodes (DOURLENS et al. 1991 : 24).

La Suisse et le canton du Valais suivent également cette évolution en prenant des mesures législatives et constructives, qui concerneront dans un premier temps principalement les phénomènes d'inondations, souvent catastrophiques au cours du XIXe. La lutte contre les crues devient une des préoccupations majeures de la Confédération au cours de la deuxième moitié de ce siècle, dans un but non seulement de protection, mais également agricole et sanitaire (REYNARD et al. 2000 : 29-30). Afin de réduire les dégâts induits par ces phénomènes, une « **politique d'intervention centralisée** sur les torrents et forêts de montagne » va ainsi progressivement se mettre en place, comme nous allons le présenter par la suite (REYNARD et al. 2000 : 53).

Les premières actions curatives importantes sont réalisées ; à noter par exemple, l'important projet d'endiguement du Rhône et d'assainissement de la plaine entrepris sur décision de l'Etat du Valais après des débordements de grande ampleur en 1860. Notons ensuite la création en 1865 de la Société forestière suisse : c'est une étape importante qui témoigne d'une volonté de prise en compte des dangers naturels à une échelle cantonale et non plus locale. Il semblerait que ce soit le début d'une nouvelle forme de gestion, prenant en compte des événements potentiels et non plus seulement basée sur les événements catastrophiques survenus. C'est ainsi un premier pas vers une gestion plus préventive et non plus uniquement « rétroactive ». La première réunion de cette société déboucha sur un projet de reboisement d'une partie du bassin d'accumulation du torrent de la Sionne. Il est intéressant de signaler les premières aides financières de la Confédération, qui alloue des subventions pour ce projet et celui de la correction du Rhône sur demande du Conseil d'Etat valaisan (ARLETTAZ 1976 : 34 ; WUILLOUD 1997).

Une série d'inondations catastrophiques (notamment celles de 1868) pousse la Confédération à prendre des mesures législatives concernant ces aspects d'aide financière : l'arrêté fédéral de 1871 précise le droit à une contribution pour des endiguements de torrents et des reboisements en régions de montagne. L'allocation de ces subventions, qui couvrent jusqu'à 50% des coûts, est ensuite reprise dans la révision constitutionnelle de 1874 ; elles sont accordées pour la

protection contre les crues mais également contre les avalanches, pour autant qu'un reboisement soit effectué. Cette nouvelle constitution charge également la Confédération de la « haute surveillance sur la police des endiguements et sur les forêts en montagne » (art. 24) (BISANG 2000 : 67 ; REYNARD et al 2000 : 30, 55, 59, 60, 65).

La première loi fédérale sur les forêts est mise en place en 1876 : elle interdit toute coupe de bois en régions de haute montagne, ordonne des reboisements et a conduit à la distinction des forêts ayant un but de protection. Cette loi fédérale pose les bases d'une exploitation à long terme de la ressource forestière en introduisant des instruments de régulation, de restriction et en la soumettant à une autorisation fédérale ou cantonale. Elle transmet la plupart des tâches aux cantons, la Confédération chapeautant le tout. Cette politique de protection des forêts reste néanmoins insuffisante : les moyens d'actions et la volonté manquent, tant au niveau de la Confédération que des cantons de montagne. La délimitation des périmètres d'intervention (restreints jusqu'alors aux régions montagnardes) pose également des problèmes de disparités inter et intra-cantoniales (BISANG 2000 : 67, 69-72). Par conséquent, une révision de l'article constitutionnel 24 est effectuée en 1897 afin d'étendre l'intervention fédérale à l'ensemble des forêts du territoire suisse (BISANG 2000 : 73 ; REYNARD et al 2000 : 60, 65).

Ce changement se concrétise dans la deuxième loi fédérale sur les forêts de 1902, qui complète la première. A noter que cette loi et la loi forestière cantonale de 1910 précisent à nouveau les taux de subventionnement : jusqu'à 95 % des coûts pourront être pris en charge par la Confédération et le canton suivant les types de travaux réalisés. La Confédération devient ainsi l'instance d'autorisation en ce qui concerne les coupes de bois, interdites dans les zones de forêt de protection ; elle encourage les reboisements grâce aux versements d'indemnités et subventionne également l'ouverture de dessertes forestières pour permettre l'entretien de cette ressource. L'action des cantons par rapport aux ressources naturelles est réglementée. Ils sont tenus d'effectuer des mesures de correction des cours d'eau, doivent mettre en place un personnel spécialisé en suffisance (forestiers) et rendre des comptes à la Confédération (BISANG 2000 : 63-4 ; REYNARD et al 2000 : 65).

Ces mesures législatives constituent un pas considérable vers la centralisation de la gestion des ressources et des dangers. Elles vont de plus permettre une généralisation des aménagements des torrents, la réalisation de travaux de protection devenant dès lors abordable pour les communes (HEROLD-REVAZ et al. 1998 : 20). On entre ainsi dans une période de « conquête de la sécurité », pendant laquelle la catastrophe doit être éliminée. Lorsqu'elle survenait, elle était vue comme une aide à une lente construction du savoir et à l'élaboration de nouveaux moyens de sécurité (DOURLENS et al. 1991 : 34-35). Il faudra néanmoins attendre les années 50 pour voir une intensification marquée des ouvrages de défense.

A mentionner avant de conclure ce chapitre, l'avance législative de l'Etat du Valais qui interdisait et sanctionnait déjà tout déboisement susceptible d'augmenter les dangers d'avalanches dans le cadre de la loi forestière du 1<sup>er</sup> juin 1850, la notion de reboisement apparaissant dans le Règlement forestier

(cantonal) de 1853. Celui de 1881 définira ensuite plus précisément les « forêts protectrices » : situées en altitude, sur des pentes abruptes, arêtes, etc., elles servent de protection contre les divers dangers naturels (vent, avalanche, chutes de pierre, glissements, inondations, etc.).

L'époque contemporaine est ainsi marquée par un grand changement dans la prise en compte des dangers naturels en Suisse : non seulement la gestion des ressources naturelles, notamment la gestion des eaux et de la forêt, incombe dorénavant à l'Etat (BRIDEL et al. 1997 : 81), mais celui-ci joue également un rôle important (principalement financier) quant à la réalisation d'ouvrages de protection. La gestion traditionnelle des populations locales se verra ainsi graduellement remplacée par une « **gestion mono-acteur** » (de CRÉCY 1987), plus ou moins prise en main par l'Etat.

Ce nouveau type de gestion semble correspondre à la première évolution de la gestion des dangers naturels observée par OLLAGNON (1991), CRÉCY (1987) et NATALI (1987) : on rejoint en effet le mode de gestion « **ouvert parcellisé** » de OLLAGNON. Il est ouvert car l'Etat, qui n'est pas directement lié à l'espace géré, intervient dans la réglementation et la réalisation des projets. Il est de plus parcellisé car l'intervention de l'Etat ne concerne qu'une partie du territoire (les régions alpines). Le mode de gestion suisse ne correspond cependant pas totalement au premier type de gestion constaté par ces auteurs : même si il est en un certain sens parcellisé, il a par contre, à ses débuts, une finalité relativement globale et n'est ainsi pas totalement « parcellisé ». En effet, même si les premières mesures de protection visaient principalement une protection contre les crues, elles concernaient aussi d'autres dangers naturels tels qu'avalanches et glissements. A noter également que ce premier type de gestion est généralement caractérisé par un manque de communication et de cohérence entre les divers organismes agissant sur le territoire : ils sont souvent responsables de fonctions différentes et sont indépendants les uns des autres. Selon NATALI (1987), c'est un mode de gestion qui témoigne de la croissance démographique et des débuts de l'urbanisation.

#### 4.2.5 1950-80 : vers une gestion mathématique et financière des risques

Dès la fin de la deuxième guerre mondiale jusque vers la fin des années 70, on note une forte intensification du développement touristique et une progression annuelle claire de ce secteur économique. La demande s'élargit, principalement en ce qui concerne le tourisme hivernal : on parle alors de la neige comme de « l'or blanc ». On verra la naissance et la croissance extrêmement rapide de stations de deuxième puis de troisième génération, lesquelles sont de « véritable[s] produit[s] touristique[s] complet[s] » et répondent à l'explosion de la demande touristique (BARRAS 1987 : 143) ; c'est la période du tourisme de masse des sports d'hiver. Le tourisme a ainsi amené une deuxième révolution économique et démographique des Alpes (le Valais aura passé de 60'000 habitants au recensement de 1798, à 216'000 en 1970). Il a accéléré le développement économique des régions alpines en diversifiant les secteurs d'activités et en créant de l'emploi, à la fois au sein du secteur touristique

(industrie hôtelière, parahôtellerie, transports touristiques, agences de voyages, offices du tourisme, etc.), mais également dans d'autres secteurs d'activités induits par le tourisme (construction, commerce, production de denrées alimentaires, transports, professions du tertiaire). Actuellement en Suisse, une personne active sur trois en région de montagne travaille dans ou pour le tourisme, qui en devient l'employeur principal (BARRAS 1987 ; KRIPPENDORF 1987 : 20). En produisant des revenus, le tourisme a atténué l'exode de la population des régions alpines et amené un certain repeuplement.

Un dynamisme majeur caractérise ainsi les régions de montagnes au XXe siècle : naissance et croissance des villes alpines, développement d'infrastructures et de voies de communication, extension des domaines skiables, etc. La mobilité des populations a fortement augmenté (le transport de personnes va plus que tripler en cette deuxième moitié du siècle), de même que le transport ferroviaire et routier des biens, six fois plus important pour ce dernier à la fin du siècle (SLF 2000 : 164-65). Cette anthropisation de l'espace alpin n'a pas eu que des aspects positifs : elle a aussi induit de tels changements au sein du milieu naturel qu'il en est à nouveau résulté une augmentation considérable des dangers naturels. Les zones d'habitat se sont étendues vers des régions d'altitude de plus en plus élevées : on constate un habitat permanent au-dessus de 1500 mètres dès le milieu du XXe, et un nombre de bâtiments au-dessus de 1000 mètres qui a quadruplé durant ce siècle. Des zones potentiellement à risques sont également utilisées (GOUT 1993 : 31 ; SLF 2000 : 162). Cette extension de ces zones à bâtir a contribué à la diminution de la surface des forêts et les divers travaux de génie civil réalisés ont déstabilisé l'environnement en induisant une surcharge du terrain et une imperméabilisation des sols (GOUT 1993 : 33). De plus, le développement touristique n'a pas été progressif, mais souvent spontané et anarchique. Ce fut une croissance effrénée et plus important, incontrôlée (KRIPPENDORF 1987 : 26). Les pratiques territoriales ne tiennent plus vraiment compte ni des dangers naturels ni du long terme : jusque dans les années soixante, il n'y pas de planification de l'urbanisation dans la majeure partie des cas. Seules quelques stations se caractérisent par une croissance planifiée et suivie, mais pour la plupart, la croissance est anarchique et irrégulière (Verbier, par exemple). Les promoteurs sont multiples, les entrepreneurs indépendants : c'est « l'individualisme généralisé » (BARRAS 1987 : 143).

Cette augmentation, non seulement des zones de conflit entre l'homme et les dangers naturels, mais également du nombre de personnes et de la valeur des biens exposés aux dangers naturels a induit un accroissement considérable des risques naturels (LOUP 1999 : 2). La politique de prévention des années 50-70 va ainsi se caractériser par une intensification considérable des constructions d'ouvrages de défense, si bien qu'une évaluation économique des mesures de protection devient de plus en plus nécessaire : une intervention systématique en tout lieu n'est plus possible pour des questions financières. Par conséquent, cette politique va être progressivement repensée, afin de pouvoir agir selon des priorités. L'apparition de la géographie quantitative dans les années 50 va permettre l'utilisation de nouvelles méthodologies dans le domaine de la géographie et va de fait amener de grands changements en ce qui concerne la politique de prévention des dangers. L'utilisation d'outils statistiques (statistique descriptive et inférentielle, modèles de régression, analyse de variance)



(SANDERS 1983) dans le domaine des dangers naturels va être possible : on verra en premier lieu l'apparition de **méthodes d'évaluation des dangers** telles que les analyses probabilistes, dans le but d'estimer la fréquence moyenne d'un phénomène. Viennent ensuite des méthodes économiques de « coût-avantage », qui permettent une certaine « quantification et monétarisation » des risques et de leur probabilité d'occurrence (DOURLENS et al. 1991 : 34-36).

De telles réflexions sur une évaluation et un contrôle des coûts de construction d'ouvrages de défense apparaissent en Suisse au début des années 70 : les études réalisées par PFISTER en 1969 sur les ouvrages paravalanches vont mettre en évidence un manque considérable de bases et de données pour une appréciation économique de ces ouvrages. Il va ainsi orienter la recherche dans le but de pallier ces lacunes en donnant une direction générale pour l'acquisition des données nécessaires à de telles évaluations. Une première méthode de « coût-avantage » sera finalement testée sur des ouvrages déjà réalisés en 1983 (WILHELM 1997 : 13-14). L'analyse quantitative des risques va ensuite se développer dans différents domaines de la sécurité. Il devient ainsi possible d'estimer la rentabilité d'équipements de sécurité, en prenant en compte leur coût, les probabilités d'événements futurs et les conséquences matérielles et humaines potentielles ; on se trouve ainsi face à une gestion mathématique et financière des risques. Ces diverses méthodes ont permis un échange de connaissances et de savoirs dans les divers domaines et ont ainsi passablement contribué à une unification de la gestion des risques, qui était précédemment caractérisée par de grandes disparités dans les méthodes et façons d'appréhender les divers dangers (DOURLENS et al. 1991 : 35-6).

#### 4.2.6 Les années 1980 : passage progressif de la « conquête » à la « recherche de la sécurité »

Malgré toutes les mesures prises et les progrès scientifiques réalisés pendant cette période de « conquête de la sécurité », on réalise néanmoins que l'élimination totale du risque n'est pas possible, et que même les méthodes actuarielles ne permettent pas d'apprécier et prévenir les dangers avec certitude : les phénomènes à gérer sont complexes, les risques nombreux et peuvent être de caractère concurrent. Ce doute scientifique qui s'instaure introduit une incertitude quant aux décisions à prendre : l'objectif des politiques de sécurité ne sera dorénavant plus une sécurité absolue, mais consistera à atteindre un certain niveau de sécurité. La « conquête de la sécurité [a ainsi atteint] des *limites* » (BAILLY 1994 : 177). Cette idée de limite à la sécurité fera dès lors partie intégrante des politiques de sécurité. On parlera à présent de « **recherche de la sécurité** », laquelle ne visera plus une éradication des risques mais consistera alors plutôt en savoir les « **reconnaître, évaluer et réguler** » (DOURLENS et al. 1991 : 31-3). La détermination de seuils acceptables de risques devient nécessaire. On voit ainsi apparaître l'idée de « gestion des risques ».

Une telle approche se retrouve au niveau de la prise en compte des risques en Suisse : la Confédération a progressivement édité des lois, directives et recommandations pour la mise en place d'une gestion des dangers basée également sur les trois étapes mentionnées par DOURLENS et al. La Loi fédérale

sur l'aménagement du territoire de 1979 ordonne aux cantons de « désign[er] les parties du territoire qui [...] sont gravement menacées par des forces naturelles ».<sup>3</sup> Cette loi introduit ainsi l'aspect de « l'identification des dangers ». La Loi forestière du canton du Valais de 1985<sup>4</sup> et l'Ordonnance (fédérale) sur les forêts de 1992<sup>5</sup> reprennent cette nécessité d'une identification des dangers en chargeant les communes de dresser des cadastres des dangers. Le deuxième aspect de la gestion des dangers y est également introduit : les communes doivent aussi dresser des cartes de dangers ; c'est l'étape de « l'évaluation des dangers ». La troisième étape de la démarche proposée par la Confédération consiste en la « planification des mesures », que ce soient des mesures de planification, de protection ou d'urgence. Des directives pour la prise en compte des dangers quant à l'organisation du territoire seront également éditées, en 1984 en ce qui concerne les avalanches, et en 1997 pour les crues et les mouvements de terrain (LOUP 1999 : 9-15 ; HEROLD-REVAZ et al. 1998 : 21).

On peut dire que cette fin de siècle est marquée par une importance croissante de « l'économie de la sécurité » (DOURLENS et al. 1991 : 36) et par d'énormes changements dans la manière de voir et gérer les risques naturels. On quantifie le risque, on essaie de maximiser la rentabilité des ouvrages de protection par rapport à l'objectif de protection et on tente d'évaluer le bénéfice amené par les mesures prises. Ce nouveau type de gestion prévisionnelle et économique qui évalue les risques et nécessite la détermination de seuils acceptables de risques fait apparaître des objectifs contradictoires entre les divers acteurs collectifs et individuels (experts, acteurs économiques, politiques et sociaux) : il en résulte des conflits qui nécessiteront d'importantes négociations et rendront la recherche de compromis nécessaire. Une communication active entre les personnes impliquées devient alors indispensable. La gestion des risques doit dès lors dépendre non seulement de paramètres objectifs, constitués par les caractéristiques des événements<sup>6</sup> et les dommages occasionnés, mais également de paramètres subjectifs, du fait que les décisions d'actions sont directement dépendantes de la représentation des dangers et risques naturels des personnes concernées (NATALI 1987 : 132-133). On voit ainsi les difficultés que peuvent poser la gestion d'un bien commun tel que le degré de sécurité quant aux risques naturels.

<sup>3</sup> Loi fédérale du 22 juin 1979 sur l'aménagement du territoire (LAT), RS 700 : art. 6, alinéa 2c, annexe 5.

<sup>4</sup> Se référer à la Loi forestière du 1<sup>er</sup> février 1985, RS 921.1 : art. 41-2 en ce qui concerne les dangers d'avalanches et de chutes de pierre, annexe 6.

<sup>5</sup> Consulter l'Ordonnance du 30 novembre 1992 sur les forêts (OFO), RS 921.01 : art. 15, alinéas 1, 3, annexe 5.

<sup>6</sup> BAILLY (1994 : 179-180) reprend BURTON, KATES et WHITE (1978) quant à l'évaluation objective du risque selon les caractéristiques physiques des événements. Ils notent sept dimensions mesurables : « l'amplitude, la fréquence, la durée, l'aire, la dispersion spatiale, la rapidité (temps écoulé entre l'apparition de la catastrophe et son intensité maximale), l'espacement temporel (successions de catastrophes) ».

#### 4.2.7 1990-2000 : Vers une gestion globale des dangers ? Réflexions et perspectives

La gestion de ces risques devient un vrai « système », composé d'un ensemble complexe de relations entre le milieu physique et humain, de même qu'au sein même du milieu humain, celui-ci étant caractérisé par une quantité de perceptions, représentations et logiques différentes qui conditionnent les actions potentielles. On se trouve ainsi face à une gestion devant prendre en compte des systèmes dynamiques de plus en plus complexes (BAILLY 1994 : 179-180 ; HEROLD-REVAZ et al. 1998). OLLAGNON propose une « gestion patrimoniale »<sup>7</sup> des biens personnels, collectifs et communs pour traiter de cette complexité de notre environnement et de ses relations. Un tel mode de gestion devrait rendre compte de la globalité des facteurs agissant sur les éléments du patrimoine<sup>8</sup> et tenir compte de leurs interdépendances. La question du long terme est également un paramètre essentiel d'une telle gestion : les éléments du patrimoine doivent être conservés dans le temps et l'espace afin de permettre une identification des divers acteurs au patrimoine. Il ne faut donc pas seulement rechercher une rentabilité maximale.

Selon les observations de DOURLENS et al. et OLLAGNON, l'évolution récente de la prise en compte des dangers et risques naturels semble prendre cette direction d'une gestion globale. DOURLENS et al. énoncent que les échanges réalisés entre les divers domaines témoignent d'une « mise en perspective généralisée des dangers les plus divers » (DOURLENS et al. 1991 : 35-6). D'après OLLAGNON (NATALI 1987 : 106), il semblerait que nous soyons en train de passer à une gestion financière et technique de l'ensemble des risques naturels qui s'exercerait dorénavant à un niveau communal. Il mentionne également la nouvelle responsabilité des services de l'Etat qui assument une fonction de conseil. Ce système « ouvert » et « unitaire » nécessite des négociations entre les divers acteurs et permet ainsi à nouveau une certaine cohérence des actions territoriales. Ces deux auteurs semblent ainsi effectivement constater une prise en compte des risques naturels qui se fait plus globale et qui permet des échanges d'opinions.

On constate que l'approche des dangers naturels en Suisse tend également vers une telle évolution : ce changement de la manière de penser et de prendre en compte les dangers et risques naturels semble se profiler peu à peu. Des efforts se font effectivement vers une approche globale : en 1990, le Conseil fédéral a donné son aval au Programme National de Recherche (PNR 31) sur les « Changements climatiques et Catastrophes naturelles », chargé d'étudier les impacts des futurs changements climatiques sur l'environnement et la société en Suisse et qui a favorisé une communication et collaboration entre des spécialistes de divers

---

<sup>7</sup> Par « gestion patrimoniale », OLLAGNON entend une gestion globale dont la finalité est la conservation du patrimoine. Il définit le terme de « patrimoine » comme étant « l'ensemble des éléments matériels et immatériels qui concourent à maintenir et à développer l'identité et l'autonomie de son titulaire dans le temps et dans l'espace par adaptation en milieu évolutif » (in NATALI 1987 : 131).

<sup>8</sup> A noter que le degré de sécurité quant aux risques naturels peut être considéré comme un élément du patrimoine, la sécurité étant devenue un « bien commun ».

domaines. Notons ensuite la création de la plate-forme nationale dirigée par l'OFEFP « Dangers naturels » PLANAT en 1997 regroupant vingt spécialistes de divers domaines : elle a pour fonction d'analyser et de coordonner les travaux des diverses institutions suisses chargées de la prévention des dangers naturels. Les spécialistes de PLANAT de même que les autres personnes et organismes responsables du domaine des dangers sont conscients de la nécessité d'un changement de modèle quant à l'approche des dangers naturels : il est actuellement indispensable de « passer de la pure défense contre le danger à une gestion du risque » (PLANAT (a) : 8), ou comme le dit LOUP, « il s'agit (...) de **passer d'une culture de défense et de sécurité à une culture du risque** » (LOUP 1999 : 20). Alors que la gestion du risque consistait auparavant à répondre à la question « Comment nous protéger ? » elle doit à l'avenir se demander « Quelle sécurité à quel prix ? »

Ce nouveau type de gestion préconisé doit, selon PLANAT, répertorier tous les dangers naturels et événements, et non plus seulement prendre en compte les événements fréquents dans le domaine de la prévention, comme il a généralement été le cas jusqu'à maintenant. Il a en effet été constaté que les événements rares sont ceux qui menacent en premier lieu les populations (PLANAT 1999). L'importance des dangers doit être connue et leur évaluation prise en compte dans cette gestion du risque. Le plus grand changement qui doit s'opérer est la nécessité de remplacer la gestion actuelle des dangers, sectorielle et très inhomogène selon les domaines par une **gestion globale, à long terme**. La planification des mesures doit à l'avenir se faire de manière interdisciplinaire et non plus spécifique. De même, les moyens engagés vont également devoir être gérés selon cette approche globale, en établissant des priorités : c'est une gestion qui se doit ainsi d'être active et qui devrait privilégier les projets « importants » de protection globale. Une telle approche permettra ainsi une gestion équilibrée du risque dans tous les domaines ainsi qu'une prise en compte de la sécurité des générations futures (PLANAT (a) : 8).

La « Journée d'étude célébrant les 40 ans du département de génie civil » de l'ETS de Fribourg en 1999 a dernièrement aussi réuni des spécialistes des divers dangers naturels (avalanches, crues, instabilités de pente, tremblements de terre). A mentionner finalement, les études réalisées dans le canton du Valais pour la mise en place d'un « SIRS-dangers naturels » (SIRS-DANA) devant permettre la prise en compte des divers dangers dans les questions d'aménagement du territoire (quant aux mesures de planification et de protection). Comme nous le verrons, ce SIRS n'est pas encore en place, mais des efforts ont néanmoins été faits en vue de le créer dans le futur.

### 4.3 Conclusion intermédiaire : les SIRS, un outil de gestion ?

Cette partie sur les dangers naturels dans les Alpes et en Valais nous a permis de mettre en évidence la nécessité d'une gestion de ces risques au vu de l'importance des enjeux humains et économiques impliqués. Nous avons également vu que la gestion des dangers naturels avait pour objectif de résoudre les conflits du territoire dus à une intersection entre les phénomènes naturels et l'occupation humaine. On peut ainsi qualifier la gestion des risques de « gestion territoriale » ou encore de « gestion de l'urbanisme intégrant les risques majeurs » (GOUT 1993 : 269). Mentionnons encore la définition proposée par OLLAGNON (1991 : 71) : la gestion du risque naturel consiste selon lui en « un ensemble d'actions visant à maintenir un certain Etat de sûreté, en agissant sur les *phénomènes générateurs d'événements*, et en réduisant les enjeux humains, et donc la *gravité* des accidents potentiels, et les probabilités d'occurrence, par la *protection des biens et des personnes* et par le choix raisonné de leur exposition aux risques. »

Nous avons pu constater que la gestion des risques naturels a subi de profondes évolutions au cours du temps. La gestion locale et traditionnelle des débuts de la prise en compte des dangers, qui recherchait une protection globale contre les phénomènes naturels, s'est vue progressivement remplacée par une gestion sectorielle des dangers, plus ou moins prise en main par l'Etat. Sa finalité a évolué au cours des années : de la recherche d'une sécurité absolue, elle ne vise actuellement plus qu'un certain degré de sécurité. Finalement, on a vu que l'époque actuelle signale les débuts d'un nouveau profond changement d'approche : une orientation vers une gestion globale des dangers se dessine progressivement depuis quelques années, afin de pallier la complexification croissante d'une gestion devant prendre en compte des enjeux humains et économiques de plus en plus important.

Une approche globale de la gestion des risques implique une approche globale du territoire, et ainsi, l'intervention de nombreux acteurs : les experts des dangers naturels, les responsables de l'aménagement et de la gestion du territoire de même que ceux responsables de la politique préventive des dangers, des spécialistes provenant de bureaux d'études et d'ingénieurs, les responsables de la gestion de crise, les communes (dirigeants et population), etc. Par conséquent, une telle approche implique une prise en compte de données provenant de divers domaines : une mise en commun des données sera nécessaire afin de permettre aux gestionnaires des risques naturels d'accéder à toutes ces informations sur les phénomènes, les mesures et les objets à protéger. Une gestion globale nécessite donc la mise en place d'un système permettant de récolter et de gérer une masse de plus en plus importante d'informations. De plus, afin de faciliter la tâche des gestionnaires des risques et les aider dans leurs prises de décisions, ce système doit également pouvoir offrir des visions synthétiques des données ainsi que la possibilité de traiter ces données.



Nous nous sommes donc demandée si les moyens techniques et informatiques actuels permettaient de résoudre les problèmes liés à la complexification d'une telle gestion. Nous avons ainsi décidé d'analyser l'apport des Systèmes d'Information à Référence Spatiale dans le domaine de la gestion des risques. Dans la suite de ce travail, nous présenterons ces systèmes d'information ainsi qu'un éventail des utilisations possibles des SIRS dans le cadre de la gestion des dangers naturels. Pour ce faire, nous allons exposer le projet valaisan « SIRS DANA » qui, une fois opérationnel, devrait permettre et faciliter une gestion globale de l'ensemble des dangers naturels. Nous nous restreindrons ensuite au SIRS Avalanches, qui constitue un élément du SIRS DANA, pour finalement évaluer l'utilité de ce système quant à la gestion des ouvrages de défense.



## 5 Les SIRS: une solution pour la gestion des dangers naturels?

### 5.1 Fondements théoriques des SIRS

#### 5.1.1 Définitions et terminologie

Il est difficile de définir précisément ce qu'est un Système d'Information à Référence Spatiale (SIRS) car c'est un domaine d'application en pleine évolution encore actuellement et ses principes et composantes ne sont donc pas encore arrivés à maturité. De plus, il se développe selon des orientations différentes dans les divers pays et de nouveaux domaines d'application apparaissent constamment. Il y a ainsi une profusion de termes différents, dont les significations ne sont pas toujours claires ni identiques. Nos diverses lectures nous ont permis de constater ce « flou » existant quant à une terminologie précise : chaque auteur ou utilisateur semble plus ou moins adopter ses termes propres. A noter cependant que l'important est une compréhension globale des SIRS et non de s'attacher à une terminologie. La difficulté d'une définition réside principalement dans le fait que le terme « SIRS » implique trois concepts différents : cette expression peut faire référence à un **outil**, à un **système de gestion et d'exploitation** de base de données localisées ou encore à un **système d'information**. Nous allons donc définir les SIRS selon ces trois approches.

Premièrement, le terme SIRS peut simplement faire référence à l'outil lui-même : un **logiciel** permettant la superposition de cartes et de données spatiales sous forme de couches d'information, de même que des fonctions de gestion, transformation et d'édition de ces données localisées sera appelé un SIRS. Le terme SIG (Système d'Information Géographique) sera cependant plus fréquemment utilisé dans un tel contexte pour définir le logiciel lui-même.

Deuxièmement, on peut mettre l'accent sur l'aspect technologique et applicatif des SIRS : ce sont des **systèmes permettant la gestion d'informations géographiques** (cartes et données localisées) et attributaires, qui comprennent également des applications permettant la cartographie et l'analyse spatiale de ces informations, et ce, dans l'objectif d'offrir un outil aux organisations en tant qu'aide à la décision (GRIMSHAW 1994 : 26). Ils permettent ainsi une observation et une investigation géographique, de même qu'une prédiction de tendances générales d'évolution (DENÈGRE 1992 : 141). La définition donnée par THÉRIAULT (in PRÉLAZ-DROUX 1995 : 3) complète ce premier éclaircissement : les SIRS « offrent (...) des méthodes et des instruments pour saisir, conserver, transformer, analyser, modéliser, simuler et cartographier les phénomènes et les processus distribués dans l'espace géographique. » En plus de donner une liste des fonctionnalités principales des SIRS, cet énoncé mentionne deux aspects fondamentaux des SIRS : premièrement, il précise l'importance de l'aspect « géographique » : les données sont repérées dans l'espace. La « distribution »

des entités et leur position dans l'espace est donnée comme essentielle car elle permet de connaître les relations entre ces entités et ainsi d'effectuer de l'analyse spatiale (ROUET 1991a : 19). Cette définition des relations spatiales entre toutes les entités graphiques permet aux SIRS d'offrir une vision cartographique nouvelle du territoire. Finalement, THÉRIAULT introduit implicitement une notion importante, que nous reprendrons dans la suite de ce chapitre : un SIRS est avant tout un ensemble de procédures informatisées et d'outils, c'est un « système », composé de « méthodes » et « d'instruments ».

Citons encore WEBER Christiane (1991 : 11-19) qui résume cette définition en regroupant les fonctionnalités des SIRS en trois groupes. Selon elle, ils permettent « [d']organiser, [de] transformer et [de] diffuser une importante quantité de données ». L'utilisation de ces termes différents nuance THÉRIAULT et précise de nouveaux aspects des SIRS : la notion de l'organisation des données apparaît, ce qui démontre l'aspect essentiel de la structuration des données dans les SIRS. En parlant de « diffusion », elle met également en valeur les possibilités des SIRS quant à l'édition et la mise à disposition facilitée des informations.

Troisièmement, on peut présenter les SIRS en insistant sur leur aspect organisationnel : ils se définissent alors par rapport à l'institution dont ils sont partie intégrante et dont ils reflètent la structure organisationnelle en intégrant toute une technologie (GRIMSHAW 1994 : 23). Une approche des SIRS selon leur aspect organisationnel amène à les concevoir comme étant avant tout des « systèmes d'information ». Afin de préciser cette vision plus « globale » d'un SIRS, il est essentiel de définir de tels systèmes ; Joël de Rosnay (in PORNON 1992 : 23) en donne une bonne définition : « Un système d'information est l'ensemble des organisations et des moyens mis en œuvre dans un organisme pour assurer l'information interne de cet organisme. Un système d'information peut ou non contenir des systèmes informatiques. » Dans ce sens, il faut ainsi comprendre le SIRS comme étant une modélisation de tout un domaine d'activité, avec ses actions et ses ressources et prenant en compte les activités de tous les acteurs (PORNON 1992 : 24). Une telle interprétation donne ainsi une vision plus globale et conceptuelle des SIRS et prend en compte tous leurs aspects, tant au niveau de sa structure organisationnelle et des aspects humains impliqués, qu'au niveau de ses composantes techniques : outils informatiques (logiciels SIRS et autres périphériques), bases de données, etc.

Si l'on résume et combine toutes ces définitions, on peut ainsi dire qu'un « SIRS » est un ensemble structuré de données repérées dans l'espace qui permet des fonctionnalités de saisie, gestion, exploitation, transformation et diffusion de ces données spatiales et attributaires grâce à des méthodes et instruments, et ce, principalement dans le but de fournir des synthèses utiles à la décision. Il permet des modélisations de l'espace géographique, que ce soit un état actuel ou une prévision future. Si l'on prend en compte toutes ses composantes, outils informatiques (logiciel SIRS, modules de traitements, périphériques), bases de données spatiales et attributaires et ses implications organisationnelles, un SIRS devient alors un véritable « système d'information. »

Avant de terminer ce chapitre, mentionnons encore quelques différences d'appellation relativement courantes : à côté des sigles communs tels que SIG,

SIRS et GIS en anglais (geographic ou geographical information systems), de nombreux autres sigles sont également utilisés pour nommer ces systèmes, la plupart de ces appellations découlant des domaines spécifiques dans lesquels les SIRS sont utilisés. Notons, entre autres, les termes de système d'information du territoire (SIT), système d'information urbain (SIU), système d'information sur l'environnement (SIE) et de système d'information et d'aide à la décision (SIAD) qui sont passablement courants (PORNON 1992 : 25 ; GAYTE et al 1997 : 32).

### **5.1.2 Historique des Systèmes d'Information Géographiques**

Plusieurs facteurs ont amené, ou plutôt favorisé, l'apparition et le développement des « Systèmes d'Information à Référence Spatiale ». Notons premièrement l'importance croissante des questions liées au territoire et à son aménagement, les relations entre l'homme et son milieu naturel, économique et social devenant de plus en plus critiques (GOLAY 1992 : 1). Une nécessité de mieux connaître et gérer l'espace s'est ainsi rapidement faite sentir afin de régler des conflits (environnementaux, économiques, etc.) de plus en plus nombreux. La fin du XXe siècle va ainsi se caractériser par une amélioration de la « [connaissance du monde réel, de la gestion des ressources naturelles, de la protection de l'environnement et de la lutte contre les risques] » (DENEGRÉ J 1992 : 140), comme nous aurons l'occasion de le préciser par la suite. Il est de plus devenu nécessaire de prendre en considération l'aspect temporel : on n'observe donc plus seulement l'état présent, mais également le futur : la prédiction prend donc de l'importance.

Les dernières décennies du XXe siècle ont ainsi vu une nette augmentation des données (thématiques mais surtout spatiales) sur le territoire. Leur qualité s'est de même considérablement améliorée grâce aux progrès techniques réalisés quant aux modes d'acquisition de ces données. L'information acquérant une importance grandissante, le besoin d'un outil permettant le stockage, la gestion et l'analyse de ces données afin de résoudre les problèmes liés au territoire s'est fait pressant. De tels systèmes n'auraient cependant pas été envisageables sans les progrès techniques de cette fin de siècle et le développement incroyable de l'informatique. Cette époque est en effet caractérisée par une forte progression non seulement du matériel informatique et de la technologie des bases de données, mais également des réseaux de télécommunications, qui favorisent un transfert, partage et échange d'informations rapides et efficaces.

#### **1960-1980 : « période de recherche »**

Tous ces besoins ont ainsi poussé la recherche dans le domaine des technologies de l'information géographique. L'application de l'informatique dans le cadre de la cartographie à partir des années 1960 amène l'apparition de logiciels de « cartographie automatique », appelés généralement des logiciels de « cartographie assistée par ordinateur » (CAO) ou de « dessin assisté par ordinateur » (DAO), qui vont permettre le stockage, la correction, la visualisation sur écran et l'édition de données numérisées. Grâce à d'importants développements, ils vont pouvoir traiter des figures de plus en plus riches telles que des courbes et ellipses et intégrer des attributs graphiques comme la couleur

et divers types de trait (ROUET 1991a : 19). Les systèmes AM/FM (Automated Mapping/Facility Management system) mettent l'accent sur le stockage de données spatiales et leur extraction. Contrairement aux logiciels de CAO, ces systèmes ont l'avantage de permettre une liaison entre données attributaires et données graphiques. Cependant, ils ne définissent pas non plus les relations spatiales. Notons également les débuts de l'imagerie spatiale et de la télédétection satellitaire dès les années 1970<sup>9</sup> (ROUET 1991a : 56). Non seulement le traitement numérique des données mais également leur acquisition deviennent ainsi possible.

Aucun de ces logiciels de cartographie automatique n'offre la possibilité d'une analyse spatiale : cette caractéristique constituera un des apports principaux des SIRS et donnera un caractère « révolutionnaire » à cette nouvelle technologie. On ne parlera donc véritablement de « SIRS » que lorsque les données spatiales auront une structure définissant les relations spatiales entre tous les éléments, et permettant ainsi une gestion et une exploitation de données au moyen de fonctions d'analyse spatiale. En ce qui concerne les données attributaires, on note également une profonde évolution technologique : la théorie des bases de données relationnelles fait son apparition dans les années 70 et va rapidement connaître d'importants progrès tant théoriques que technologiques. C'est l'évolution de ces deux technologies (CAO et bases de données) qui a amené l'apparition des SIRS (DENÈGRE 1992 : 140-41). Les logiciels CAO permettent une bonne prise en compte des données spatiales et les systèmes de gestion de bases de données (SGBD) une bonne gestion des données attributaires. Jusqu'alors, ces deux catégories d'informations ne pouvaient pas être traitées ensemble de manière optimale : les SIRS vont combiner les avantages de ces deux technologies en intégrant des bases de données spatiales et attributaires, ainsi que des modules de traitement permettant de transformer les données en information significative.

Des travaux pionniers sont réalisés dans le cadre de laboratoires de calcul aux États-Unis principalement : la notion de « système d'information géographique » apparaît : c'est « un concept hybride né (...) d'un croisement entre informatique, mathématique et géographie » (GAYTE et al. 1997 : 29). Les premiers SIRS se créent dès la fin des années 60 : parmi les précurseurs, notons par exemple le « Canadian Geographic Information System » et le « New York Land use and Natural Resources Information System » en 1966 de même que le « Minnesota Land Management Information System » en 1967. Les coûts de ces systèmes vont néanmoins rester trop élevés jusqu'à la fin des années 1970 pour permettre à des petits utilisateurs potentiels d'adopter cette technologie (WEBER Christiane 1991 : 12) et ne seront demandés que par des grandes administrations. Les années 1970 sont surtout une période d'expérimentation. Notons également l'apparition des premières compagnies de logiciels SIRS, comme ESRI en 1969. La vingtaine d'années comprise entre les débuts de la cartographie automatique dans les années 1960 jusqu'à la fin des années 1970 constitue une période de « recherche ou d'incubation des SIG civils », recherche qui se fait principalement dans le cadre d'universités et d'instituts de recherche (GAYTE et al. 1997 : 31).

---

<sup>9</sup> LANDSAT 1, le premier satellite destiné à l'observation des ressources de la terre est lancé en 1972.



### **1980-2000 : « développement et commercialisation »**

La phase de développement des SIRS commence vraiment à partir des années 80 : des progrès significatifs sont réalisés et ces outils vont connaître des développements théoriques et pratiques remarquables. La recherche est en plein essor et se concentre dès lors dans des sociétés privées : on note un important développement des applications et l'apparition des « premières applications SIG prêtes à l'emploi (...) ou SIG-outils<sup>10</sup> » (GAYTE et al. 1997 : 31), comme, par exemple, ArcInfo en 1982. Quant aux systèmes de gestion de base données, ils vont permettre la gestion d'un volume toujours croissant d'informations et on note l'apparition de logiciels de « systèmes de gestion de base de données relationnelles » (SGBDR). Cette période signale l'émergence des premiers groupes d'utilisateurs (RIEDO 1999 : 11).

Depuis la fin des années 1980, l'offre en logiciels SIRS n'a cessé de s'accroître. L'engouement pour les SIRS va s'accroître grâce à une diminution non seulement de leurs coûts, mais également de ceux des périphériques essentiels pour compléter ces systèmes (scanners, tables à digitaliser, imprimantes). De plus petites collectivités et entreprises ont ainsi pu les adopter : un marché commercial des SIRS apparaît. De nombreuses conférences réunissant des spécialistes ont lieu afin de débattre de cette nouvelle technologie et les articles et périodiques académiques et professionnels spécialisés dans le domaine des SIRS sont en forte augmentation. Les années 90 signalent le début de la commercialisation et de la diffusion des SIRS (GAYTE et al. 1997 : 31 ; RIEDO 1999 : 11). Les SIRS ont dans un premier temps mis l'accent sur les données graphiques ; ce n'est que dernièrement que la prise en compte des données attributaires a pu être nettement améliorée grâce à l'intégration de systèmes de gestion de base de données (SGBD) dans les SIRS, comme nous le préciserons par la suite. Les logiciels SIRS intégrant un SGBD vont ainsi pouvoir traiter de manière très efficace des données graphiques et non graphiques. De plus, l'accroissement rapide de la puissance des matériels et logiciels permet l'exploitation de volumes de données toujours plus importants (PORNON 1992 : 22). Les SIRS ont ainsi connu une évolution et une pratique remarquable ces 15 - 20 dernières années et sont toujours en pleine expansion actuellement : les applications se généralisent et les thématiques s'élargissent. Cette technologie a amené de nouvelles approches dans les domaines de la gestion, de l'aménagement et de la planification du territoire qui vont particulièrement séduire les ingénieurs et autres gestionnaires du territoire. Le chapitre suivant nous permettra de préciser les possibilités d'application de ces systèmes grâce à une typologie de leurs diverses fonctionnalités.

#### **5.1.3 Fonctionnalités des SIRS, traitements et domaines d'application**

Les SIRS sont des outils qui permettent différents types de fonctions, que nous avons déjà brièvement mentionnées au cours des chapitres précédents, notamment dans les définitions données de ces systèmes d'information. Afin de clarifier les possibilités offertes par ces systèmes, il est néanmoins essentiel de les

---

<sup>10</sup> Ce type de logiciel sera défini plus en détail dans le cadre du chapitre 5.1.4.

préciser quelque peu en présentant également les principaux traitements que ces systèmes permettent de réaliser.

A nouveau, on note des divergences quant à une typologie des fonctions offertes par les SIRS suivant les auteurs. GOLAY (1992 : 19) insiste sur la distinction entre deux types de fonctions : la **gestion** et la **production d'information**. Ces deux catégories, même si très générales donnent une bonne vision synthétique, qu'il nous semble utile de garder en mémoire. Passablement d'auteurs ne vont d'ailleurs faire que préciser ces deux types : PRELAZ-DROUX (1995 : avant-propos) distingue trois apports : la collection et maintenance de données (qui pourrait correspondre au premier type de GOLAY), et en ce qui concerne l'aspect de « production d'information », il différencie le « traitement et l'analyse de données spécialisées » de la production d'informations par combinaison de données hétérogènes, dans un but d'aide à la décision. GRIMSHAW (1994 : 162) quant à lui ne semble considérer que l'aspect exploitation ou production d'information ; il propose trois fonctions principales : la présentation de données sous forme de cartes, la possibilité d'effectuer des requêtes sur les données et d'effectuer de l'analyse spatiale. PORNON (1992 : 27-35) considère quatre fonctionnalités principales : « **la saisie, l'exploitation, la gestion et l'édition de données.** » Cette typologie pourrait également être regroupée à un niveau supérieur de généralisation dans celle de GOLAY, la gestion pouvant comprendre la fonction de saisie et les fonctions d'exploitation et d'édition amenant toutes deux une production d'information. La typologie que nous allons présenter sera principalement basée sur celle de PORNON, car elle donne des précisions essentielles qui ne sont pas directement impliquées dans les deux types de GOLAY. Nous allons néanmoins la compléter avec la typologie des fonctions des SIRS donnée par CALOZ (1999 : 1-6), qui introduit la fonction de simulation.

### **Fonction de saisie**

Les SIRS permettent l'acquisition de données graphiques (digitalisation, vectorisation), la structuration de ces données et la construction de topologies. Un SIRS peut ainsi être utilisé pour le dessin de cartes et de plan. Cette fonction n'est néanmoins pas primordiale et ne demande pas forcément un logiciel SIRS, la saisie des données étant souvent réalisée avec des logiciels plus spécialisés de CAO/DAO. Les SIRS ont par contre des fonctions très utiles permettant la superposition de données géographiques provenant de sources différentes en les transposant dans un même référentiel. La saisie de données attributaires est également possible.

### **Fonction de gestion**

Les SIRS ont des fonctions permettant la collecte et le stockage des données, une organisation de ces données par couches, classes d'objets, etc., la gestion d'index, de même qu'un contrôle de la cohérence des données et du lien entre données graphiques et non graphiques. Les SIRS vont ainsi gérer l'historique, faciliter la mise à disposition des données de même que l'accès aux données grâce à des critères géographiques, thématiques, attributaires, topologiques. Ils permettent également de faciliter les mises à jour.

### **Fonction d'exploitation: analyse thématique et analyse spatiale**



C'est le type de fonction qui regroupe le plus grand nombre de traitements possibles et surtout les plus essentiels : ce sont ces traitements qui permettent une exploitation, analyse, transformation des données, et ainsi, une production d'information. Le contenu des produits numériques, graphiques et cartographiques édités et diffusés provient de ces traitements. Les SIRS vont permettre l'extraction de données selon des critères géographiques, thématiques, attributaires, topologiques : un secteur géographique, une couche, un type détaillé d'entité, etc. Des fichiers partiels pour un usage particulier vont pouvoir être constitués et il sera ainsi possible de travailler et diffuser un volume de données réduit ne comportant pas d'informations inutiles. Les SIRS ont également des fonctions qui permettent également la production de nouvelles données à partir de données existantes au moyen d'opérations mathématiques. Non seulement les SIRS vont permettre d'effectuer de l'analyse thématique au moyen de requêtes sur les données attributaires, mais ils vont également rendre possible des traitements d'analyse spatiale. C'est grâce à ces fonctions d'exploitation des données que les SIRS vont pouvoir produire des informations de synthèse et être des outils d'aide à la décision.

- **Fonctions d'analyse thématique**

L'analyse thématique se fait sur les attributs des objets géographiques. Ces traitements ont ainsi principalement une finalité de visualisation de ces données attributaires. Ils vont faciliter la consultation des données, en permettant une sélection graphique de même qu'une sélection grâce à des opérateurs de SGBD, booléens (et, ou, non, ou « exclusif », etc.) ou logiques (algèbre relationnelle : =, <, >, etc.). Ces fonctions permettent une interrogation de la base de données attributaires.

- *Requêtes spatiales : consultation de données non graphiques par sélection graphique*

Un tel traitement permet d'accéder aux caractéristiques attributaires d'une ou plusieurs entités (individualisées) de l'espace géographique. Il facilite ainsi considérablement l'accès aux données non graphiques et permet une extraction de celles-ci selon un critère de sélection géographique. Cette requête de repérage permet par exemple d'effectuer un inventaire localisé. Un SIRS donnera ainsi facilement les réponses à des questions telles que : « Qu'y a-t-il à tel endroit ? Quelle est la valeur de tel attribut pour ces entités graphiques ? »

- *Requêtes thématiques : localisation et visualisation des résultats de recherches ciblées*

Les SIRS permettent de localiser et visualiser le résultat de requêtes thématiques : les entités graphiques issues d'une sélection sur des critères attributaires pourront être visualisées sur une carte, soit par simple mise en évidence de leur emplacement, soit par création d'une carte thématique, qui permettra la représentation de critères attributaires au moyen de symboles ponctuels différents ou proportionnels, à des camemberts, etc. Ces requêtes peuvent être très précises, grâce à l'utilisation possible d'opérateurs non spatiaux (booléens ou logiques). Il sera donc possible de dresser un inventaire de biens ou d'installations en répondant à des questions telles que : « Où trouve-t-on tel type de bien,

de phénomène, etc. ? ». La représentation de données non graphiques accroît considérablement la valeur de l'information, et sera indispensable pour communiquer l'information.

- **Fonctions d'analyse spatiale**

L'analyse spatiale est le mode d'exploitation des données le plus puissant : leurs traitements sont parmi ceux qui exploitent le plus les potentialités des SIRS. « L'analyse spatiale », telle que définie par CHAMPOUX & BÉDARD (1992 : 191), est « l'analyse, dans l'espace, des phénomènes dont on connaît la localisation et l'étendue dans cet espace. (...) Elle permet de mieux connaître les caractéristiques spatiales des phénomènes sur le territoire ainsi que leurs interrelations dans l'espace. » Ils complètent cette définition en ajoutant que « [c']est un processus cognitif et itératif qui utilise différents opérateurs, dont un spatial au moins, pour déduire les caractéristiques descriptives ou spatiales d'un phénomène isolé ou regroupé, réel ou simulé dans l'espace. »

L'analyse spatiale permet de réaliser des traitements qui prennent en compte plusieurs couches d'informations géographiques, ponctuelles, linéaires ou surfaciques. Ces traitements vont se faire au moyen d'**opérateurs non spatiaux**, qui effectuent des opérations arithmétiques (addition, soustraction, écart-type, etc.) ou logiques (égal, plus petit, etc.), et d'**opérateurs spatiaux**, dont les opérations se rapportent à l'aspect métrique (position de l'entité par rapport à un système de coordonnées, orientation par rapport à un axe, longueur, superficie, volume) ou topologique (adjacent, touche, inclus). Les opérateurs spatiaux topologiques permettent ainsi de distinguer cinq relations spatiales : la disjonction ou exclusion, le voisinage, l'intersection, l'inclusion et l'égalité ou union (CHAMPOUX & BÉDARD 1992 : 193-99). Grâce à ces opérateurs et à une combinaison de requêtes, de nombreux traitements vont être possibles. On voit l'apport considérable de la topologie<sup>11</sup> qui permet de réaliser de l'analyse spatiale à un niveau élevé.

- *Sélection d'information au moyen d'opérateurs spatiaux et non spatiaux*

De tels traitements permettent de sélectionner des entités graphiques au moyen d'opérateurs spatiaux métriques et topologiques. Ces requêtes peuvent également être combinées avec les opérateurs non spatiaux (booléens, arithmétiques et logiques) des requêtes thématiques. De tels traitements vont principalement rechercher de l'information et permettre de visualiser les objets ou régions répondant aux critères de sélection. De telles fonctions pourront être utiles, par exemple, pour la détermination du lieu d'implantation de bâtiments, installations.

- *Production d'information au moyen d'opérateurs spatiaux*

Ces traitements exploitent pleinement les propriétés topologiques des données graphiques et amènent souvent une transformation ou une

<sup>11</sup> La topologie en tant que concept SIRS « est une manière de structurer les données graphiques en informatique (...) qui facilite et accélère la saisie des données (...) évite la redondance d'informations graphiques [et] rend possible l'exploitation des données cartographiques à fins d'analyse » (PORNON 1990 : 21). Elle fournit ainsi les informations nécessaires pour définir des relations d'adjacence, etc.

production de nouvelles entités graphiques au moyen d'opérations mathématiques. Notons par exemple la création de zones autour de points, lignes, polygones (zones tampons) ; la création et le calcul de nouveaux polygones (ou « régions » en mode image) résultants de l'intersection, union, inclusion, exclusion des entités d'une ou plusieurs couches d'objets surfaciques. Cette dernière fonction permet une analyse temporelle (comparaison des dissemblances spatiales entre deux couches d'information de dates différentes). Mentionnons finalement les fonctions effectuant une analyse de graphes : ces traitements vont par exemple rechercher le chemin optimal ou le plus court (selon la distance ou des critères attributaires), ou des zones d'isovaleurs. Tous ces traitements producteurs d'information vont être une aide à la décision indéniable.

### **Fonctions de simulation et de réalisation de scénarii**

Les logiciels SIRS peuvent être couplés avec d'autres logiciels spécialisés, et permettre ainsi d'effectuer des prévisions, en utilisant les données disponibles dans les SIRS (modélisation de phénomènes selon divers scénarii, de l'impact d'un ouvrage de protection sur le phénomène, etc.) Ce type de requête va ainsi répondre à des questions telles que « Que se produirait-il si... ? »

### **Fonction d'édition**

Les SIRS permettent non seulement un affichage, et ainsi une consultation directe sur l'écran, mais ils ont également des fonctions de création et d'édition (sur traceur, imprimante) de plans, cartes thématiques, et de résultats provenant d'une exploitation non cartographique des données (graphiques, histogrammes, tableaux croisés, rapports). Tous ces produits offrent des visions d'ensemble et de synthèse, qui s'avèrent très utiles lors de prises de décision. Notons que la présentation de données et de résultats d'analyses sous forme de cartes est une des fonctions principales des SIRS : la visualisation est essentielle car elle permet une compréhension globale très rapide et donne du poids à l'information. Une diffusion et une communication de cette information seront finalement possibles, également au travers d'Internet.

Dans ce chapitre, nous avons tenté d'exposer une typologie complète des traitements offerts par les SIRS. Une telle typologie n'est pas facile à réaliser car les traitements sont souvent interdépendants et de fait relativement mal définis dans la littérature. Nous avons tenté de combiner la classification de PORNON (1992 : 27-35) avec celle proposée par CALOZ (1999 : 1-10). Il nous semble tout de même utile de présenter comme conclusion de chapitre la typologie de CALOZ (adaptée de RHIND D.W.) : elle met en évidence les requêtes essentielles concernant l'exploitation et la production de données. Cette typologie comporte six classes : les requêtes d'inventaire localisé, de recherche critériée, d'analyse spatiale, d'analyse temporelle, de modélisation, et d'aide à la décision.

Cette présentation des fonctions principales offertes par les SIRS nous montre que ces systèmes sont des outils indéniables de gestion et d'aide à la décision. Les SIRS peuvent être simplement un outil descriptif, en permettant des constats de situation d'un état présent (création d'atlas), mais ils sont également un outil de synthèse grâce à leur possibilité de réalisation de cartes et graphiques de synthèse. Une analyse spatiale est possible, de même qu'une simulation de la

décision. Les SIRS vont ainsi être un outil d'aide à la décision. Cette seconde finalité des SIRS, l'aide à la décision, est l'aspect le plus important des SIRS : c'est elle qui contribue le plus à la notion de « système d'information » (PORNON 1992 : 35).

### Domaines d'application

Tous ces traitements possibles des SIRS en font des systèmes utiles dans de nombreux domaines d'application. À leurs débuts, ils ont principalement été utilisés pour des questions de gestion des données urbaines (gestion foncière et cadastrale, gestion des réseaux et de leur entretien, planification urbaine, etc.) et de ressources naturelles (études géologiques - climatologiques - hydrographiques, évaluation des ressources de surface ou de sous-sol, allocation de ressources) ; ils vont ensuite s'étendre au domaine de la planification et de l'aménagement du territoire en général ; ils vont être utilisés lors d'études d'impact (choix d'implantation d'un commerce-institution), d'ingénierie routière, pour des applications liées à la sécurité civile (prévention risques, organisation secours). Ils sont également utilisés à des fins de présentation et de communication cartographique pour des besoins d'études thématiques (visualiser, mettre en valeur des données, à différentes échelles), de marketing géographique (présentation résultats commerciaux), ou encore pour la présentation et mise en valeurs d'activités, de réalisations ou du patrimoine local et régional (MULLON & BOURSIER 1992 : 152-56). Ils sont actuellement de plus en plus utilisés dans la recherche scientifique grâce à leurs fonctions de modélisation, simulation (d'évolutions, mais aussi de phénomènes).

De cette présentation des domaines d'utilisation des SIRS, on note que le nombre et le type d'utilisateurs potentiels de ces systèmes peuvent être sans limites. On pourrait mentionner la typologie des utilisateurs de PORNON (1992 : 47) afin de clarifier l'aspect « utilisateur ». Il distingue : les « **gestionnaires de territoires** », qui constituent les collectivités et entreprises du domaine public et privé : gestion de réseaux, de patrimoines, de sites industriels, touristiques, gestion d'activités économiques, etc. ; les « **demandeurs de synthèses géographiques** » qui cherchent à cartographier les conséquences d'une mesure prise et les distributions des diverses entités géographiques ; les « **analystes du territoire** » cherchent à comprendre et prévoir le fonctionnement ou les processus de phénomènes du territoire. Finalement, il mentionne les « **producteurs d'information géographique** » qui vendent de l'information (bureaux d'études, sociétés de saisie, etc.). Cette typologie fait apparaître un travail à différentes échelles d'analyse, qui exploitent des potentialités différentes des SIRS suivant le niveau de précision et de spécialisation nécessaire.

#### 5.1.4 Typologie des SIRS

Il n'existe pas de typologie bien définie et chaque auteur adopte des classifications plus ou moins différentes. Certains vont mettre l'accent sur le type d'utilisateur des SIRS et distinguer ainsi les SIRS de spécialistes, les SIRS utilisateurs et ceux pour débutants. D'autres vont favoriser une approche selon les fonctions offertes par le type de SIRS : SIRS de visualisation, de gestion, d'analyse, etc. (MULLON & BOURSIER 1992 : 167-71). Cette classification rejoint

cependant la précédente, car les divers types d'utilisateurs vont choisir leur logiciel selon les fonctionnalités offertes. Ainsi, un SIRS de spécialistes sera plus performant et offrira des applications plus spécialisées. Certaines classifications des SIRS se basent sur leur adaptation à une thématique ou à un domaine d'utilisation : SIRS pour le marketing, la géologie, la gestion de réseau, etc. Une distinction peut aussi se faire selon leur mode de représentation des données graphiques, vectoriel ou image (RIEDO 1999 : 27). Nous allons adopter la typologie de RIEDO (1999), choisie également par le Centre de recherche sur l'environnement alpin<sup>12</sup>. Elle nous semble claire et complète car elle intègre à la fois l'aspect utilisateur et l'aspect traitement du SIRS.

Mentionnons tout de même la typologie présentée par PRÉLAZ-DROUX (1995), qui, même si elle ne semble pas judicieuse pour notre étude, met en évidence deux grands domaines d'application de ces systèmes. Il propose deux grandes catégories de SIRS, les SIT, qui se caractérisent par une gestion vectorielle de données cadastrales et sont utilisés dans les « domaines juridique, administratif et économique » et les SIG, utilisés pour l'étude (analyse, modélisation, etc.) des « phénomènes et (...) processus » du territoire (PRÉLAZ-DROUX 1995 : 19-21). Il place ensuite les autres systèmes entre ces deux extrêmes. Il classe les SIRS selon leur domaine général d'application et les traitements demandés : pour des fonctions administratives, de gestion et interrogation du territoire (SIT) et dans un but de recherche et planification, demandant des fonctions d'analyse spatiale (SIG). On y retrouve les deux catégories principales de fonctions définies par GOLAY (1992 : 19) : la gestion et la production d'informations.

RIEDO (1999 : 29-60) construit sa typologie sous forme d'une pyramide ; il distingue trois types d'outils : de consultation, de bureau et professionnel. Nous allons présenter ces différentes classes plus en détail, la figure 1 permettant de visualiser cette classification. A la base de la pyramide, on trouve le premier type de logiciels SIRS qui sont avant tout des **outils de consultation** et sont destinés à des « **consommateurs de représentations spatiales** », plus ou moins débutants. Les fonctions d'analyse de ces SIRS sont restreintes : ils répondent principalement à des besoins qui se limitent à la visualisation, la localisation de données et à des analyses thématiques simples. Dans cette catégorie, on peut citer les logiciels ArcIMS, MapObjects IMS, ArcView IMS et ArcExplorer.

Viennent ensuite les **SIG bureautique** ou « **de bureau** » (en anglais « desktop GIS ») : ce sont des logiciels d'analyses relativement « complets » abordables pour des applications à budget restreint. Ils offrent toute une série de traitements et analyses qui en font des outils d'aide à la décision. Mentionnons entre autres des fonctions d'analyse thématique, de représentation, stockage et saisie de données, de même que des fonctions d'analyse statistique. Ils donnent également la possibilité de générer des graphiques et requêtes et permettent une édition vectorielle. La gestion de la topologie n'est néanmoins pas possible, leur modèle de données étant simple. Ces logiciels conviviaux et relativement simples sont destinés à des « **utilisateurs de fonctions spatiales** ». Leurs fonctionnalités peuvent de plus être accrues par l'intégration de modules spécialisés, par

---

<sup>12</sup> Cette typologie a de fait également été reprise dans le cadre du projet SIRS-DANA (CREALP 2000).



exemple pour permettre le traitement de réseaux ou d'images raster. On relèvera entre autres, dans cette catégorie, les logiciels ArcView, MapInfo, Idrisi.

Finalement, on trouvera les SIG « boîte à outil » (comme, par exemple, le logiciel ArcInfo) : ils sont constitués de modules spécialisés différents pour chaque catégorie de fonctions. Cette architecture modulaire permet des analyses complexes, des modélisations, etc. Les bases de données sont réparties et offrent des possibilités de gestion d'accès multi-utilisateurs. Le traitement de volumes de données considérables est possible de même qu'une gestion de la topologie. Ils sont ainsi prévus pour des applications spécialisées et de grande ampleur. Leur complexité d'utilisation en fait des SIRS pour spécialistes.

RIEDO mentionne également une quatrième catégorie, un peu à part : les « outils DAO-SIG » qui mettent l'accent sur le graphisme et non sur la gestion et l'analyse de données. Les informations géographiques sont fréquemment saisies à l'aide de ces outils, très puissants et précis pour l'acquisition de données, et sont reprises dans des logiciels SIRS par la suite, afin de permettre un traitement de cette information. Au-dessus de tous ces logiciels, se trouvent des serveurs de données spatiales qui sont des additions aux SGBD standards permettant le stockage et la gestion des informations spatiales ; ils permettent d'incorporer les données spatiales à des SGBD de type relationnel (SGBDR) tel que Oracle et de gérer la sécurité et l'accès aux données.

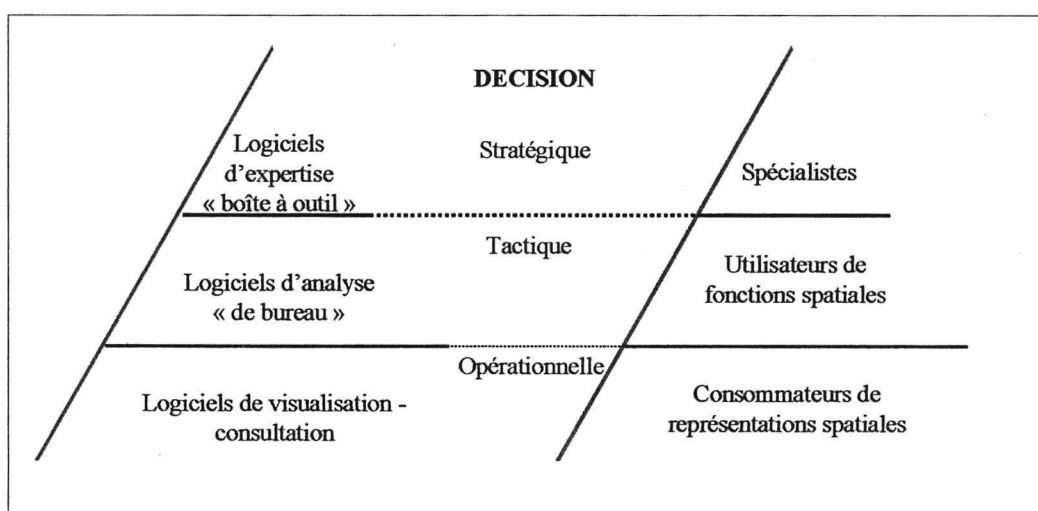


Fig. 1 : Typologie des SIRS et utilisateurs (adapté de RIEDO 1999 : 29-30)

Certains SIRS se différencient encore selon leur modèle de représentation de données spatiales, en mode vecteur ou raster, mais comme la plupart des systèmes actuels permettent une coexistence de ces deux types de données, nous n'allons pas traiter de cet aspect en tant que critère de classification, mais l'examinerons brièvement dans le chapitre 5.1.6 concernant la modélisation des données spatiales.



Cette classification des SIRS en trois types principaux nous a permis de les différencier non seulement selon la performance de ces outils et leurs possibilités d'analyse, mais également selon le type d'utilisateur, du débutant au spécialiste. Ces trois types vont ainsi être utilisés par des domaines d'application différents. Ils constituent par conséquent des « niveaux » différents, qui conditionnent aussi les types de décisions pouvant être pris aux différents étages de cette pyramide : on passera d'une décision opérationnelle à une décision tactique pour finalement atteindre une décision de niveau stratégique, avec une finalisation élevée. Cette représentation sous forme de pyramide reflète également le nombre d'utilisateurs, celui-ci diminuant avec le degré de spécialisation du SIRS. Une telle présentation des SIRS nous semble par conséquent bien adaptée pour représenter clairement ces systèmes qui s'exploitent à différentes échelles, par diverses catégories d'utilisateurs et permettent ainsi divers niveaux d'analyse.

### 5.1.5 Composantes principales et architecture des SIRS :

Comme nous avons pu le constater au cours des chapitres précédents, les SIRS sont constitués de deux groupes de composantes complémentaires : les données et les outils informatiques, ou comme préciserait THERIAULT (in GREPPIN 1999 : 7-8), les « données et les traitements ». La figure qui suit permet de bien visualiser les relations entre ces deux composantes.

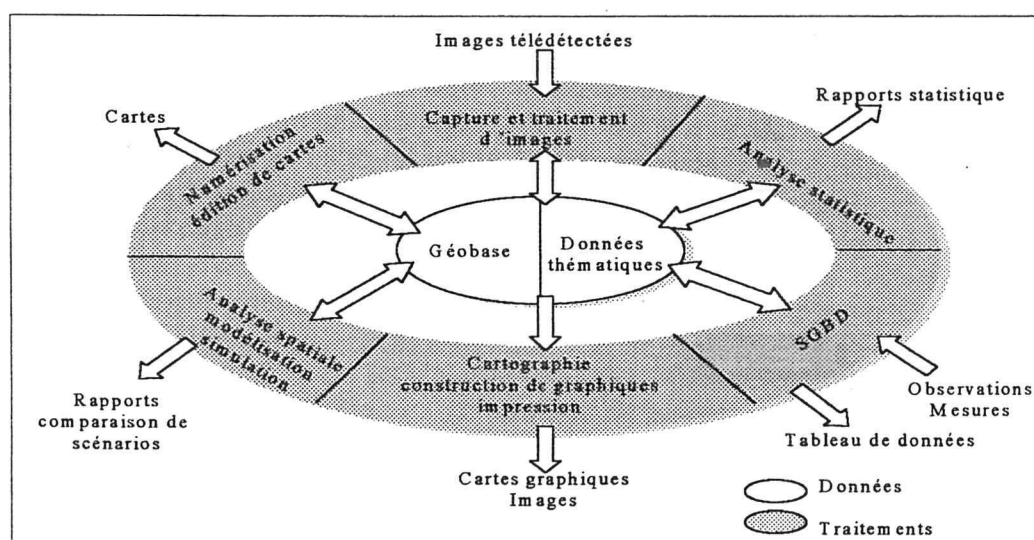


Fig. 2 : Les composantes informatiques d'un SIRS (tiré de GREPPIN 1998 : 7).

Nous avons déjà abordé ces deux groupes de composantes, surtout en ce qui concerne les « traitements », que nous avons mis en évidence en présentant les fonctionnalités principales offertes par les SIRS. Avant de reprendre cet aspect par rapport à l'architecture des SIRS, il est primordial de se pencher sur le deuxième groupe de composantes que nous n'avons que peu abordé jusqu'à présent :

### Les données

Deux catégories de données vont être intégrées dans les SIRS : premièrement, des données **graphiques** qui permettent de représenter et localiser les objets du territoire et deuxièmement, des données **non graphiques** (ou attributaires), qui sont des données thématiques sur les entités spatiales. Notons également l'intégration possible et fréquente de données attributaires géoréférencées (grâce à des coordonnées, une adresse, etc.) et de données décoratives fournissant un fond de plan pour enrichir une présentation visuellement (ROUET 1991a : 136). Toutes ces données reflètent un état de la réalité et changent de fait constamment à chaque mise à jour. Les données vont ainsi permettre une description spatiale, thématique et temporelle des entités du territoire et devenir de « l'information » pour les divers utilisateurs. Cependant, pour que les données aient une valeur informative, elles doivent respecter certains **critères de qualité**.

Les données doivent être définies clairement pour ne pas induire des erreurs d'interprétation, complètes afin de montrer tous les aspects du réel essentiels à l'utilisateur et ne doivent pas être contradictoires. L'aspect temporel étant également important, elles nécessitent d'être à jour ou tout du moins relativement récentes et de comporter une date ou période de validité explicite. Un historique de l'information est essentiel : il doit donner un critère de fiabilité en décrivant la source de l'information et son élaboration (mode d'acquisition et de traitement, qualité des prises de mesures, etc.). Les liens entre les données doivent être correctement établis et les objets géographiques localisés précisément dans l'espace. Finalement, l'accessibilité aux données doit être facile. (ROUET 1991a : 134, 152). Il est indispensable de faire connaître ce que « sont et ce que valent les données » (ROUET 1991a : 134) : tous leurs divers aspects doivent être connus par l'utilisateur pour lui permettre d'avoir confiance en l'information. Il est par conséquent primordial de prendre en compte les aspects concernant la qualité des données et de définir le degré d'erreur ou d'incertitude (due généralement à une ambiguïté) à chaque étape de la conception du SIRS de même qu'en cours d'exploitation (CALOZ 1999 : 4-8 - 4-9). Tous ces aspects relatifs à la qualité des données ne doivent pas être négligés car la qualité de l'information déterminera fortement la fiabilité et la pertinence du SIRS.

### Les traitements

Le propre des SIRS est leur capacité à lier ces deux catégories de données, spatiales et attributaires, et ce, dans le but de produire de l'information ; c'est là qu'intervient la deuxième catégorie de composantes des SIRS, qui représente toutes les opérations réalisées sur les données : les traitements. Différents modules vont permettre de les effectuer : module de saisie et d'édition des données, de gestion des données, d'analyse spatiale et statistique pour produire de l'information et des modules de cartographie et d'impression pour communiquer et diffuser l'information.

### Architecture des SIRS

Certains de ces traitements vont être pris en charge par d'autres logiciels, et ainsi influencer l'architecture de l'ensemble du système. Premièrement, si l'on considère les traitements relatifs à la gestion des données attributaires, on

constate que ceux-ci sont actuellement de plus en plus réalisés hors du logiciel SIRS, par un SGBD. La manière de concevoir et de gérer les bases de données graphiques et non graphiques des SIRS va induire de fortes différences quant à leur architecture : trois types de SIRS se distinguent (RIEDO 1999 :36 ; ROUET 1991a : 257) :

- les SIRS à « **l'architecture hybride** » : de tels systèmes conçoivent leurs bases de données graphique et non graphique de façon séparée : ils comportent une base de données spatiales (qui a ses propres fichiers), tandis que les données attributaires sont gérées au moyen d'un SGBD externe, généralement de type relationnel. Le lien entre les deux bases de données est pris en charge par le logiciel SIRS, grâce à un identifiant unique;
- les SIRS à « **l'architecture intégrée** » : ce sont des logiciels graphiques avec base de donnée intégrée (de type « relationnel » ou « orienté-objet »), permettant ainsi de gérer les données spatiales et non spatiales dans un seul système ;
- Finalement, les SIRS à « **l'architecture distribuée** » : ils sont composés d'un système de gestion de données spatiales relié à plusieurs systèmes de gestion de base de données attributaires.

La majeure partie des logiciels SIRS adopte la solution hybride : d'une part, les SGBD se sont considérablement améliorés du point de vue de leurs performances et de l'étendue de leurs fonctions et d'autre part, le logiciel SIRS apparaît souvent dans un deuxième temps, afin de compléter un SGBD déjà en place, et s'intègrent souvent dans une organisation qui est déjà équipée d'outils informatiques (PORNON 1992 : 37). Les SIRS vont être également liés à des logiciels spécialisés afin de prendre en charge d'autres catégories de traitements (outils de conception et de dessin de projets, de traitement de données topographiques de terrains, d'images satellites, de données statistiques, de gestion des réseaux, etc.), le transfert des données étant réalisé par la suite. L'architecture de l'ensemble du système peut ainsi devenir passablement distribuée.

L'ensemble des données et des systèmes et périphériques utilisés va former un « **système d'information** » tel que défini précédemment, et que certains qualifierons de « SIRS » au sens global. De tels systèmes d'information sont mis en place dans l'objectif d'une amélioration de la gestion et de la production d'informations, qui sont, comme nous l'avons vu, les fonctions principales des SIRS telles que définies par GOLAY (1992 : 19). Il nous faut à ce point ajouter un aspect essentiel de ces systèmes que nous n'avons que peu traité jusqu'à présent : les SIRS, pour permettre un travail performant sur les données nécessitent une bonne structuration de ces dernières. Par conséquent, une modélisation de l'espace géographique va s'imposer afin d'obtenir une description claire et complète de ses entités et de leurs relations nécessaires au projet. Cette modélisation des données est une étape essentielle de la conception des SIRS<sup>13</sup>, il est par conséquent essentiel d'exposer quelque peu les modèles de données spatiales et attributaires. Comme ces dernières sont actuellement souvent gérées par des systèmes de gestion de bases de données, il nous a semblé pertinent de

---

<sup>13</sup> Nous traiterons des diverses étapes de conception d'un SIRS dans le chapitre 5.3.

présenter les modèles de données attributaires dans le cadre du chapitre 5.2 sur les SGBD.

### 5.1.6 Modélisation des données spatiales

La représentation cartographique des éléments de la réalité prend de plus en plus d'importance actuellement : elle permet de reconnaître un lieu, de représenter spatialement des objets, inventaires thématiques et phénomènes dynamiques. L'information est transmise au moyen de signes : cette visualisation va permettre une compréhension rapide, globale et synthétique de l'ensemble de l'information. Pour pouvoir représenter cartographiquement ces données spatiales, des modèles de représentation des données ont été mis en place. Mais avant de les exposer, il est essentiel de définir le concept de « **modélisation** ». Il dérive directement de la notion de « **modèle** » : « un modèle est une simplification de la réalité » (CALOZ 1999 : 2-15). La modélisation est ainsi une étape essentielle de la conception d'un SIRS : elle consiste en une analyse des objets de l'espace géographique, non seulement afin de dégager les entités spatiales utiles, les attributs nécessitant d'être pris en compte et les relations entre les entités, mais également afin de définir le mode de représentation convenant à ces données. On va donc modéliser à la fois la géométrie et les propriétés des éléments du territoire. La modélisation va permettre de simplifier la réalité et d'en représenter les entités essentielles pour un certain domaine d'application ; c'est ainsi une étape obligatoire lorsque l'on désire cartographier un état de l'espace géographique, d'un phénomène ou une évolution.

La notion d'échelle est un aspect important de la modélisation des entités géographiques : elle va définir le degré de généralisation, et ainsi conditionner les analyses pouvant être réalisées sur les entités. Les grandes échelles, utilisées par exemple pour le cadastre foncier ou par les ingénieurs pour des constructions d'ouvrages, sont des échelles opérationnelles. Viennent ensuite celles qui offrent plus une vision d'ensemble : du 1 : 5'000 au 1 : 10'000 - 1 : 25'000. Ce sont les échelles du plan d'ensemble et du plan d'aménagement ; elles seront également utilisées pour la représentation d'inventaires locaux. Finalement, les représentations à une échelle plus petite permettront une vision des aménagements régionaux et de grands inventaires. Les SIRS vont permettre de jouer sur ces différentes échelles, mais il ne faut pas négliger le fait qu'une échelle plus petite sur le SIRS n'amènera pas une plus grande précision au niveau des données : il est donc indispensable de connaître l'échelle d'acquisition des données, et d'en tenir compte lors de changements d'échelles grâce au logiciel graphique.

L'espace peut être partitionné selon deux possibilités : au moyen d'unités d'observations irrégulières, qui représentent les objets de manière individuelle et d'unités d'observations régulières qui permettent de représenter des variables continues (CALOZ 1999 : 2-37 - 2-38). La modélisation numérique dans les SIRS va permettre ces deux types de représentation des données, grâce au **modèle objet**, ou vectoriel, qui peut être **topologique** ou **non-topologique**, et au **modèle image**, appelé également mode matriciel ou raster. Ces deux modes de

représentation sont complémentaires : ils ont chacun leurs avantages et désavantages, lesquels sont inversés.

En mode objet, les informations géométriques et thématiques sont introduites séparément, généralement dans deux bases de données différentes, au contraire du mode image qui affecte les valeurs d'un attribut aux unités d'observation, lesquelles sont arbitraires et se présentent sous forme de « mailles ». Alors que dans le mode objet « l'objet géographique » est un élément de la modélisation, dans le mode image, il est un « produit » de l'analyse car il présente les informations relatives à un thème.

Le **mode objet** représente les entités du monde réel en reproduisant leur géométrie (forme et taille) et en rattachant à chaque objet un fichier comportant des attributs le décrivant : le lien entre les deux bases de données se fait au moyen d'un langage de requêtes ou de menus, ce qui permet d'effectuer des traitements au niveau des attributs. Les objets sont repérés dans l'espace, au moyen de coordonnées géographiques ou autre localisant (code postal, ...). Deux types de modèles objets existent : les modèles **non-topologiques** représentent les entités spatiales au moyen de points, lignes et polygones. Ils ont une structure plus simple et les données sont facilement transférables, mais leurs possibilités d'analyse spatiale sont très réduites. Les modèles **topologiques** vont quant à eux permettre une analyse spatiale performante grâce à l'introduction des relations spatiales lors de la saisie : on ne parlera plus de point, ligne et polygone, mais de nœuds, chaînes ou polyligne (lignes bornées par des nœuds de début et de fin) et de zones (l'emplacement par-rapport aux diverses chaînes est pris en compte) (CALOZ 1999 : 3-5 - 3-18).

Le **mode image** représente quant à lui les entités du monde réel par une série de points ou pixels de couleurs différentes selon leurs attributs ; les pixels contigus de valeur identique vont constituer une « région » : l'analyse ne va donc pas se faire seulement « de pixel à pixel ». Pour chaque thème, on aura ainsi une « grille » ou « fichier matriciel » qui constitue la matrice des valeurs attributs. Cette matrice est divisée en « mailles » régulières définies par une coordonnée. Chaque maille ne pourra comporter qu'une seule valeur, généralement la valeur numérique moyenne de l'attribut sur la maille. La précision de l'information sera par conséquent directement dépendante de la densité des points, ou grandeur de la maille. Le mode image va permettre une bonne superposition de thèmes ou couches d'informations, et ainsi une forte capacité d'analyse.

Le tableau suivant permet de présenter quelques-unes des différences principales entre les modèles de représentation des données spatiales et met en évidence la complémentarité de leurs avantages et désavantages.



MODE OBJET : orienté objet	MODE IMAGE : orienté attribut
----------------------------	-------------------------------

AVANTAGES	DÉSAVANTAGES
Compacité des données	Important volume de données
Topologie permet une bonne analyse de voisinage et de réseau	Analyse moins puissante : elle se fait selon la disposition des mailles
Bonne représentation graphique	Aspect visuel des sorties cartographiques médiocre
Bonne précision spatiale	La précision spatiale dépend de la maille et est de fait relativement faible

DÉSAVANTAGES	AVANTAGES
Structure de données complexe	Structure de données simple
La superposition de données peut poser des problèmes	Bonne superposition et combinaison de données : forte capacité d'analyse spatiale
Faible résolution thématique	Variables spatialement continues bien représentées
Traitement d'images digitales impossible	Bon traitement d'images digitales
Acquisition des données longue : digitalisation	Acquisition des données rapide : scanner, images satellites SPOT, etc.

Tabl. 1 : Propriétés des modes de représentation objet et image (CALOZ 1999 : 3-25 – 3-28 ; GRIMSHAW 1994 : 73-74 ; PORNON 1990 : 15-21).

Ces deux modèles vont ainsi concerner des **données différentes** : un réseau hydrographique, routier ou des points fixes de la mensuration officielle par exemple seront représentés en mode objet alors que l'altitude ou des données d'occupation du sol, etc. vont se modéliser sous forme de « grille » grâce au mode image. Le choix entre ces deux modes de représentation dépendra par conséquent du type de données devant être utilisées et des traitements désirés. Par exemple, le mode image sera mieux adapté pour représenter les surfaces. En ce qui concerne les traitements, il faut noter qu'il est plus difficile de mettre à jour des données représentées en mode image ; ainsi, lors de mises à jour continues le modèle objet sera généralement préféré.

Les **traitements** se rapportant à l'analyse spatiale sont également différents : le **modèle objet** va permettre des calculs de distances, de périmètres, etc., mais va surtout offrir les possibilités d'exploitation de la topologie telles que la recherche de proximité, du plus court chemin, la création de zones tampons. Il sera par exemple choisi dans le cas de besoins courants en gestion de données localisées. Le **modèle image** favorise quant à lui une analyse spatiale sur plusieurs couches



d'information et est mieux adapté dans certaines activités comme la télédétection. L'aspect financier peut également être un critère, une acquisition de données de type image étant moins coûteuse. Notons finalement l'existence de programmes qui permettent de transformer les données spatiales d'un modèle à l'autre, la transformation automatique n'étant cependant pas toujours totalement opérationnelle.

Après ce chapitre sur les modèles de données spatiales, nous allons traiter des aspects concernant les données attributaires. Il est cependant essentiel de commencer par une brève présentation des systèmes permettant de gérer ces données, ceux-ci étant directement liés au type de modélisation. Nous exposerons ensuite les divers modèles de représentation des données thématiques et mettrons l'accent sur celui utilisé par la suite.

## 5.2 Fondements théoriques des SGBD

Les systèmes de gestion de bases de données (SGBD) sont nés en réponse à un besoin croissant de gérer efficacement des informations de plus en plus abondantes : les traitements de données se sont étendus et complexifiés et ont rendu l'échange de données entre programmes indispensable. Cet échange était à l'époque passablement difficile car chaque traitement avait alors ses fichiers spécifiques : une duplication des données était souvent nécessaire, ce qui contribuait à rendre la gestion d'un ensemble de données de plus en plus lourde. Les SGBD sont ainsi apparus dans les années 1960-70 dans cet objectif de permettre un partage de l'information : la base de données va par conséquent devoir « décrire et gérer les données indépendamment des programmes particuliers à chaque traitement » (ROUET 1991a : 155). Elles vont connaître un succès commercial grandissant à partir des années 1970, mais surtout dès les années 1980, avec leur évolution qualitative et quantitative (GARDARIN & VALDURIEZ 1987 : 1-2 ; ROUET 1991a : 154-56 ).

### 5.2.1 Les SGBD : un partage des données

L'objectif de départ recherché est un partage des données en temps réel : les SGBD vont ainsi devoir rendre les données disponibles dès leur mise à jour et permettre aux utilisateurs de les obtenir directement à la demande. Cette fonction essentielle des SGBD nécessite qu'ils centralisent les données et qu'ils évitent les redondances et distorsions entre informations de versions différentes. La cohérence des données doit être conservée. Ils ont aussi la fonction d'assurer l'indépendance des données (ROUET, p. 157). Troisièmement, ces systèmes doivent permettre de s'adapter aux besoins de chaque utilisateur, et ainsi donner la possibilité de « vues » ou niveaux d'agrégation différents. Les SGBD vont également offrir des outils normalisés, permettant d'accéder aux données par un langage d'accès, d'améliorer la présentation des données, de gérer l'accès aux données ainsi que les aspects de sécurité en cas de panne, etc. Finalement, pour permettre un partage, il est essentiel que ces systèmes fournissent un catalogue ou dictionnaire des données décrivant l'organisation logique et la nature informatique des données. Ce dictionnaire des données reflète en quelque sorte

la structure de l'information (ROUET 1991a : 156-61). Il est indispensable de considérer cet aspect structurel: tout comme les données spatiales, les données attributaires doivent être modélisées afin de pouvoir être gérées de manière efficace. Une bonne structuration des données facilite la saisie, la mise à jour, l'accès et la consultation des données, permet une rapidité d'extraction et de traitements; elle doit tenir compte des aspects de consistance, sécurité et protection des données (PRÉLAZ-DROUX 1995 : 27).

Les systèmes de gestion de base de données permettent donc de stocker et manipuler de grandes quantités d'informations de manière sûre grâce à des traitements vérifiant l'intégralité et la fiabilité de la base, et donnent la possibilité d'une utilisation simultanée par plusieurs personnes. On trouve trois types principaux de SGBD : ceux de première génération, **hiérarchique** ou **réseau** et ceux de type **relationnel** apparus à partir des années 80 et constituant la deuxième génération de ces systèmes. Comme ces types se distinguent par la manière dont ils structurent les données, nous les présenterons dans le cadre du chapitre suivant sur la modélisation des données.

### 5.2.2 Modélisation des données attributaires

La modélisation des données attributaires peut se faire selon un modèle de type hiérarchique, réseau ou relationnel. Nous allons commencer par une présentation brève des deux premiers modèles et nous nous concentrerons ensuite sur le modèle relationnel, qui est celui utilisé pour structurer les données concernant les avalanches de l'État du Valais.

Le modèle **hiérarchique** structure les données selon des relations hiérarchiques univoques : l'information se présente ainsi selon des niveaux emboîtés (schéma en « arbre »). De tels SGBD offrent un accès aux données rapide mais qui n'est réalisable que sur l'identifiant de la donnée recherchée, constitué des identifiants des divers niveaux. Un enrichissement du modèle peut nécessiter une restructuration de la base, et être ainsi problématique. Les bases de données **réseau** permettent quant à elles de gérer des relations hiérarchiques multiples de même que des relations non hiérarchiques : en effet, des tables de correspondance associent les différentes entités entre elles. Là encore, il est difficile d'effectuer des modifications du modèle, les tables de correspondance devant être également corrigées. Le modèle **relationnel** est un modèle logique développé dans les années 70 et actuellement implémenté dans de nombreux SGBD. Il utilise une approche similaire à celle du modèle « entité-association », méthode permettant de conceptualiser les données ; nous allons donc présenter ce modèle conceptuel avant de décrire le modèle relationnel de manière plus détaillée.

L'apparition des **modèles conceptuels** de données tels que le modèle « **entité-association** » (appelé également « entité-relation ») signalent de grands changements quant aux méthodes de structuration des données. Le modèle entité-association distingue les entités ou objets du monde réel et les associations entre ces entités. Les entités peuvent être associées entre elles par deux types d'association : de « dépendance fonctionnelle » (appelée également de « un à

plusieurs »), qui peut être facultative ou obligatoire, ou de « plusieurs à plusieurs », qui sont des associations sans dépendance. Ces cardinalités minimales et maximales sont définies pour chaque relation. Chaque entité est représentée par une table comportant ses occurrences, identifiées grâce à une « clé ». Un tel modèle a la propriété de représenter toutes les relations avec leurs contraintes d'intégrité de manière synthétique ; il est ainsi souvent utilisé comme étape préalable à la mise en place d'une base de données réseau ou relationnelle.

### Le modèle relationnel

Les structures de données du modèle relationnel sont simples et dérivent du modèle conceptuel « entité-association ». C'est un modèle basé sur l'idée que la relation entre deux données élémentaires est une information. Il nécessite ainsi une identification de ces relations afin de pouvoir regrouper les données « en fonction de leurs liens de dépendance » (ROUET 1991a : 187). Il comporte deux concepts principaux : premièrement, la « relation », qui constitue une table à deux dimensions de la base de données ; une relation comprend ainsi les combinaisons de plusieurs domaines tels que rencontrées dans la réalité, un « domaine » étant l'ensemble des valeurs simples possibles pour une donnée. « L'attribut », appelé également « champ » est le deuxième concept de ce modèle : c'est une colonne de la relation : il décrit les entités du monde réel, lesquelles sont représentées par les lignes, ou « tuples » de la relation. Afin de pouvoir identifier ces entités sans équivoque, il est nécessaire de définir un identifiant. Cette « clé » sera constituée d'un ensemble minimum d'attributs de la relation, appelés « données clé », ne permettant pas que deux tuples aient la même valeur sur cet identifiant. Une donnée clé suffit dans la plupart des cas, mais une clé multiple, formée d'une combinaison d'attributs, peut s'avérer nécessaire. Les autres attributs de la relation seront tous des données dépendantes de ces données clés.

Le modèle relationnel décompose ainsi tout un ensemble de données en plusieurs tables plus restreintes qui regroupent les attributs mutuellement dépendants. Chacune de ces relations va se définir par son nom, une explication textuelle, les attributs qu'elle comporte et leurs domaines ainsi que par son ou ses identifiants (ou clés). On trouve aussi des identifiants externes ou « clés étrangères » qui permettent de faire le lien entre deux relations. Ces clés étrangères vont par exemple permettre de vérifier l'aspect d'intégrité référentielle : en indiquant une dépendance fonctionnelle entre les tables où elles se trouvent et celles d'où elles proviennent, il sera possible de vérifier que les associations liées à une entité supprimée sont également supprimées (PARENT 1999 : II :1-II :15).

Cette décomposition de l'ensemble des données en plusieurs relations est une étape essentielle de la création d'une base de données relationnelle qui doit respecter un ensemble de règles : on utilise le terme de « normalisation » car il s'agit de mettre les relations en « formes normales » (ROUET 1991a : 187). Les trois règles principales exigent que, premièrement, une relation élémentaire ne doit comporter que des attributs qui font sens pour l'ensemble des tuples ainsi qu'une seule valeur par colonne ; deuxièmement, la valeur de chaque attribut doit dépendre exclusivement de la valeur de la clé de la relation ; troisièmement, il ne doit exister aucune sous-relation à l'intérieur de la relation : les valeurs de

chaque attribut doivent dépendre de toute la clé, et ce de manière exclusive. Il est donc obligatoire de créer une relation pour chaque dépendance (ROUET 1991a : 187-88).

Les modèles relationnels comportent un certain nombre de « règles d'intégrité » afin de vérifier la cohérence et fiabilité de la base de données. Parmi les règles d'intégrité minimum du modèle relationnel, on peut citer l'obligation d'une « unicité de clé » (la valeur de la clé doit toujours être définie), le respect obligatoire des valeurs possibles dans chaque domaine et finalement, l'intégrité référentielle ou contrainte de référence, qui permet de contrôler la cohérence entre des valeurs faisant partie de la même relation ou de relations différentes : elle empêche par exemple l'existence d'une relation lorsque les entités la composant sont inexistantes et vérifie certains critères de cohérence entre valeurs, comme par exemple le fait que la date de naissance d'une personne est obligatoirement antérieure à la date de décès. Ces critères d'intégrité sont une composante essentielle des SGBDR.

### 5.2.3 L'algèbre relationnelle : troisième composante des SGBDR

Nous avons présenté deux des composantes principales des SGBDR, soit la structure des données et ses contraintes d'intégrité. L'algèbre relationnelle constitue une troisième composante indispensable des SGBDR. C'est en effet grâce à elle que les informations de la base de données pourront être retrouvées et extraites : elle offre la possibilité d'effectuer des opérations sur les relations, essentiellement grâce à six opérations élémentaires. Chaque résultat obtenu reste une relation, et pourra ainsi être concerné par d'autres opérations. Ces opérations vont permettre de définir des « vues » sur la base de données, et ainsi, de restreindre l'information et de ne présenter que les données essentielles pour chaque besoin spécifique.

Les deux premières opérations possibles se font au sein d'une même table : la « **projection** » permet de n'extraire qu'une partie des attributs d'une table et la « **restriction** » consiste à n'extraire qu'une partie des lignes selon des critères sur les valeurs des données. L'algèbre relationnelle admet également des opérations sur deux tables. Lorsque les tables ont le même schéma, une « **union** » de deux relations sera possible : les tuples des deux tables seront regroupés dans une même relation, et les doubles éliminés. On peut également obtenir la « **différence** » entre deux tables : seules les lignes ne figurant pas dans une autre table seront extraites. Finalement, lorsque deux tables sont de schémas différents, le « **produit cartésien** » va combiner tous les tuples d'une table avec tous ceux d'une autre table. La relation résultant de cette opération va comporter un nombre de tuples égal au produit du nombre de tuples des deux tables et un nombre de colonne égal à la somme des colonnes des deux tables. La « **jointure** » est une opération similaire au produit cartésien mais est limitée par une condition restrictive valable pour les deux tables : elle permettra de ne sélectionner que les tuples comportant une valeur identique sur les deux tables pour un même attribut. On peut combiner la jointure avec une opération de

projection, afin de ne sélectionner qu'une partie des attributs. La condition de jointure peut se baser sur des égalités (valeurs identiques) ou sur des rapports de grandeur (supérieur, différent, etc.). Cette opération permet également d'inclure les tuples ne satisfaisant pas le critère, en laissant un blanc à la place des valeurs inexistantes. La jointure est une opération essentielle car elle permet de réunir des données séparées par la normalisation, et ainsi, de « reconstituer (...) la richesse de l'information » (ROUET 1991a : 190).

Les langages d'accès aux données vont permettre non seulement de créer des requêtes et mettre ainsi en œuvre les opérations de l'algèbre relationnelle, mais également de manipuler les données et de structurer la base de données. C'est un langage qui va servir à gérer les données. Mentionnons finalement le dictionnaire de données : il comprend tous les aspects qui décrivent la base de données : les relations, les attributs et leurs domaines, les règles d'intégrité, etc. Il permet ainsi un contrôle de toutes les opérations de la base.

### 5.3 Etapes de la mise en place d'un SIRS

La mise en place d'un SIRS implique de nombreux changements au sein de l'organisme d'un point de vue tant économique et technique qu'organisationnel et méthodologique. Ces aspects ne doivent par conséquent pas être négligés lors de sa phase de conception. GOLAY (1992 : 3) insiste sur cette nécessité de prendre en compte les « trois piliers » généraux des SIRS, notamment l'aspect technologique, directement dépendant du type de logiciel utilisé, les questions relatives à l'intégration du SIRS dans l'organisation et ainsi les aspects de mise en place du système d'information, et finalement, les aspects méthodologiques qui permettent de préciser comment l'homme peut utiliser la technologie afin de combler ses demandes. BERNARD & BERNADAC (1991 : 140) précisent ces trois aspects en proposant cinq grands ensembles fondamentaux devant être étudiés :

- un ensemble de composantes matérielles,
- de logiciels et de méthodes,
- de données et de procédures (saisie, récupération et mise à jour),
- de compétences et des structures de travail adéquates,
- de dispositions organisationnelles et institutionnelles.

La mise en place d'un système d'information géographique est par conséquent une opération complexe qui nécessite le respect d'une série d'étapes afin d'assurer la réussite du projet. De nombreuses méthodes existent pour la mise en place de tels projets, que ce soit au niveau de la conduite du projet ou au niveau des diverses étapes de réalisation. Afin d'en proposer une présentant clairement les étapes essentielles de la mise en œuvre d'un SIRS, nous avons combiné plusieurs méthodes qui amenaient toutes une précision ou une amélioration. Nous nous sommes principalement inspirée de BERNARD & BERNADAC (1991 : 139-51) et de GAYTE et al. (1997 : 107-36), mais nous avons également



tenu compte des méthodes proposées par CALOZ (1999 : 4-8 - 4-9), GOLAY (1999 : 1-15) et PORNON (1992 : 69-74).

La démarche générale de conception d'un système d'information doit aller du général au particulier : il est important de délimiter le problème de manière globale avant d'effectuer une analyse précise. Par conséquent, si le projet géomatique prévu est de grande envergure et concerne toute une organisation, il sera essentiel de commencer par une **analyse globale** des objectifs et des contraintes pour définir précisément le cadre du projet ainsi que les divers domaines concernés. Une décomposition du projet général en plusieurs systèmes d'information sera ainsi possible : une telle segmentation aura l'avantage de permettre une gestion des informations à différentes échelles et de ne traiter que les données essentielles et synthétiques au niveau global. Cette première étape, préconisée entre autres par la méthode Merise (ROUET 1991b : 156-57), consiste en l'établissement d'un « **schéma directeur** » et a pour finalité la « définition, la planification et la coordination de projets de mise en œuvre d'un système d'information » global (GOLAY 1999 : 8). La suite de la mise en place du projet global impose la considération de chaque sous-système comme un projet SIRS à part entière nécessitant le respect de l'ensemble des étapes de conception. Chaque projet devra ainsi suivre une démarche similaire à celle proposée dans le cadre de ce travail :

### 1) Analyse des besoins et de l'existant

Cette première étape sert à définir le domaine qui sera couvert par le SIRS : elle doit non seulement amener une identification des objectifs du projet, mais également préciser la nature des phénomènes qui vont devoir être intégrés dans le système pour répondre aux futurs besoins des utilisateurs. C'est une étape qui va se faire en trois temps : premièrement, une identification des divers **acteurs et partenaires** qui vont utiliser et exploiter ce système est nécessaire afin de cadrer le projet. Leurs **attentes et besoins** respectifs vont ensuite devoir être spécifiés : il est essentiel de connaître la finalité du SIRS : se veut-il un outil de « consultation », de « gestion » ou « d'expertise » ? Le niveau d'exploitation du SIRS et les traitements recherchés vont déterminer non seulement le type de logiciel à acquérir mais également le genre de données (format, niveau de précision, etc.) à intégrer au système. Finalement, une **description des données** associées à ces besoins sera nécessaire : il faudra non seulement tenir compte des données existantes, et de leurs capacités à répondre aux besoins demandés, mais également des données devant être acquises.

### 2) Étude de faisabilité et proposition de scénarii

Cette étape permet d'évaluer la faisabilité du projet au niveau des contraintes techniques, économiques, et organisationnelles, et ce, dans le but d'éviter un abandon du projet à une étape avancée de sa conception. Selon GAYTE et al. (1997 : 109-11), cette étape est en un certain sens une « analyse du risque ». L'**aspect technique** va notamment prendre en compte tout ce qui concerne l'équipement en matériels et logiciels (possibilités offertes par le marché, intégration entre les divers modules du système, etc. ) et tous les aspects relatifs aux données et à leur acquisition (étude sur la disponibilité des données, sur leur mode d'acquisition et sur l'importance de cette saisie). Les



**aspects économiques** (coûts d'acquisition des logiciels et des données, de mise en place du système, etc.) vont être directement dépendants des contraintes techniques. Ils doivent être pris en compte afin de vérifier que l'organisme peut supporter ces frais. Finalement, il faudra considérer les **aspects organisationnels** (volonté des acteurs à se moderniser, intégration du système dans l'organisme, etc.) qui vont déterminer l'exploitation et la maintenance du système. On pourrait également y ajouter une analyse des contraintes juridiques, par exemple pour des questions relatives à la diffusion de données (confidentialité, etc.). Cette étape permettra de déterminer si le SIRS peut être mis en place ou s'il faut envisager une autre solution. Une « maquette » est parfois réalisée à ce stade de la conception du projet afin de faciliter cette démarche de planification du projet et de consolider les concepts.

### 3) Modélisation et expérimentation

Au cours de cette étape, les entités spatiales et leurs attributs vont être modélisés : une bonne communication entre futurs utilisateurs et experts responsables de la conception du SIRS est primordiale, afin que les données et leurs relations soient représentées avec précision. Une structuration des données cohérente est en effet essentielle pour permettre une exploitation efficiente de l'information. Des **modèles conceptuels** de données tels que le modèle « entité – relation » sont souvent effectués avant le **modèle logique** de données, adapté au mode de gestion du logiciel. Les modèles conceptuels devront néanmoins être modifiés par la suite pour se conformer à la structure de la base de données. Les traitements doivent également être précisés au cours de cette étape, et un modèle « fonctionnel » est parfois réalisé. Deux approches de modélisation sont possibles, suivant l'ordre de priorité donné à la modélisation des données et des traitements : une **approche « par les données »**, qui met l'accent sur la modélisation de ces dernières, sera adoptée pour la conception de SIRS prévus comme outils de gestion ou « de communication ». Une approche « **par les traitements** » concernera les SIRS d'aide à la décision (GOLAY 1999 : 11). Ces modèles doivent être élaborés de manière itérative pour que les incohérences ou fautes de structure soient éliminées et pour qu'ils atteignent une certaine précision.

Cette étape comprend généralement aussi une réflexion générale au niveau organisationnel et technique : les futurs utilisateurs des données, leur place dans l'organisation, la structure du système et le choix de logiciels seront déterminés (GOLAY 1999 : 10). Il peut ensuite être utile de réaliser un prototype sur un sous-ensemble d'entités : il permettra non seulement de vérifier tout l'aspect structurel du SIRS, mais également d'évaluer concrètement la faisabilité et la pertinence des traitements. Cette première mise en application est ainsi une expérimentation et une évaluation du système fortement conseillée, qui amènera fréquemment des modifications au niveau de la structuration des données.

### 4) Adaptation et programmation

Le prototype réalisé au cours de l'étape précédente aura permis de réaliser un bilan d'expérimentation : sa validation par les futurs utilisateurs est essentielle et amène généralement de nouvelles adaptations du scénario de

départ. Il sera ensuite possible de passer à une phase de conception détaillée : **optimisation de la structure et des modèles** par rapport aux logiciels, définition des liens entre sous-systèmes s'il y a eu décomposition du système général en plusieurs projets et plusieurs logiciels (SIRS, SGBD, de saisie, etc.), architecture du système, conception des algorithmes pour permettre l'implémentation des traitements, conception de l'interface homme-machine, etc. (GAYTE et al. : 114-28). Cette étape permet de choisir l'organisation du système la mieux adaptée, d'affiner l'ensemble du système et de le rendre prêt pour la phase de développement. Le plan de mise en œuvre du SIRS va pouvoir être élaboré.

### 5) Développement

Cette étape va comprendre toutes les actions réalisées afin de rendre le SIRS opérationnel. La première phase consistera en l'**acquisition des données** : recherche des données déjà existantes, saisie des données nécessaires qui ne sont pas disponibles (digitalisation, etc.). Une phase de pré-traitements et de conditionnement sera indispensable : des traitements vont par exemple être nécessaires pour convertir des formats de données différents et les données vont fréquemment nécessiter des traitements supplémentaires pour corriger les erreurs d'acquisition. Ce n'est qu'après un travail souvent fastidieux que les bases de données seront complètes et prêtes à être exploitées. Viennent finalement les **aspects techniques d'installation** du système au sein de l'organisation.

### 6) Exploitation et maintenance

Une fois le système conçu et les données acquises et intégrées au système, les divers acteurs pourront passer à son exploitation : extraction d'information, analyse spatiale et thématique, impression et diffusion des produits réalisés. Ils vont également devoir mettre à jour le système afin de le maintenir opérationnel.

## 5.4 Les SIRS, un outil de gestion des dangers naturels ? Présentation du « SIRS DANA »

Comme présenté dans la quatrième partie de cette étude, les dangers naturels ont une grande importance sur les questions d'aménagement de l'espace: la forte anthropisation du milieu alpin et le fait qu'une même partie du territoire puisse être touchée par plusieurs types de dangers rendent les questions d'aménagement du territoire de plus en plus primordiales dans ces régions. D'où la nécessité d'une gestion territoriale prenant en compte tous les dangers naturels. Nous avons mentionné au cours de ce chapitre sur les SIRS quelques domaines d'applications de ces logiciels et un éventail des traitements proposés. Dans ce chapitre, nous allons présenter le projet géomatique SIRS DANA prévu en Valais afin d'exposer les apports des SIRS en ce qui concerne le domaine des dangers naturels et de l'aménagement du territoire.

#### 5.4.1 SIRS DANA: but de conception et architecture

Les divers responsables des dangers, soit le géologue cantonal, l'ingénieur des cours d'eau et le chef de la section des dangers naturels, ont toujours géré les informations relatives à leur domaine de manière indépendante et de nombreuses applications et systèmes d'information hétérogènes se sont développés. Une consultation de l'ensemble de ces données est néanmoins nécessaire afin de permettre une affectation appropriée et économe du territoire : une collaboration entre les services de l'aménagement du territoire et ceux responsables des dangers naturels est de fait indispensable.

Le projet « SIRS DANA », abréviation de « SIRS dangers naturels », a ainsi émergé en 1998 dans le but d'offrir une solution à cette gestion trop sectorielle des dangers naturels du canton du Valais. Sa finalité est de rendre possible une exploitation commune du contenu informatif des cartes de danger, du cadastre des événements catastrophiques naturels et de celui se rapportant aux ouvrages de protection, et ce afin de permettre une identification de tous les conflits entre les dangers naturels et l'occupation du sol. Un tel projet devrait ainsi améliorer l'échange de données avec les services de l'aménagement du territoire, et ainsi faciliter les processus de décisions relatifs aux modifications des plans d'aménagement et des restrictions d'affectation. Les données seront valorisées, leur qualité améliorée et leur coût réduit grâce à une standardisation des modes de saisie. Le SIRS DANA offrira une méthode et des outils permettant une **gestion interdisciplinaire des dangers** : tous les acteurs concernés pourront visualiser et accéder à l'ensemble des zones de conflits et des objets impliqués dans la définition des cartes de danger. Ces dernières seront de même exploitables par tous les services, à différentes échelles de gestion suivant leurs besoins spécifiques (GREPPIN 1998 : 1-4 ; GREPPIN 2000 : 1).

Le projet global SIRS DANA concerne ainsi plusieurs domaines et doit prendre en compte divers services, sections et départements de l'administration. Il doit également être accessible aux neuf ingénieurs forestiers qui sont répartis sur l'ensemble du Valais de même qu'aux divers bureaux d'études avec lesquels il existe une forte collaboration quant à l'acquisition et au stockage des données. Il a été par conséquent décomposé en plusieurs systèmes d'information : les SIRS « Avalanches », « Géologie » et « Cours d'eau ». Leurs données de base seront regroupées au sein d'un SIRS fédérateur, le « SIRS DANA ». Cet ensemble d'applications concernant les dangers naturels sera lié avec d'autres systèmes d'information cantonaux, notamment le SIRS « aménagement du territoire » (SIRS AT), le « SIRS fonctions forestières » et deux SIRS sur le cadastre des ouvrages (ProtectMe) et des événements (StoreMe) prévus par la Confédération.

Une telle structure permet une bonne insertion dans le système d'information cantonal et respecte l'autonomie de décision des différents partenaires de la gestion du territoire. De plus, il facilite une analyse à différentes échelles : les divers services auront accès aux données spécialisées pour permettre une gestion interne à leur domaine, alors qu'une gestion interdisciplinaire sera réalisée au niveau du sous-système SIRS DANA, centralisateur des données de base utiles à une telle gestion. Le système d'information mis en place va également comprendre divers modules développés suivant les besoins des utilisateurs et les

données nécessaires aux divers traitements. La figure suivante montre clairement cette architecture.

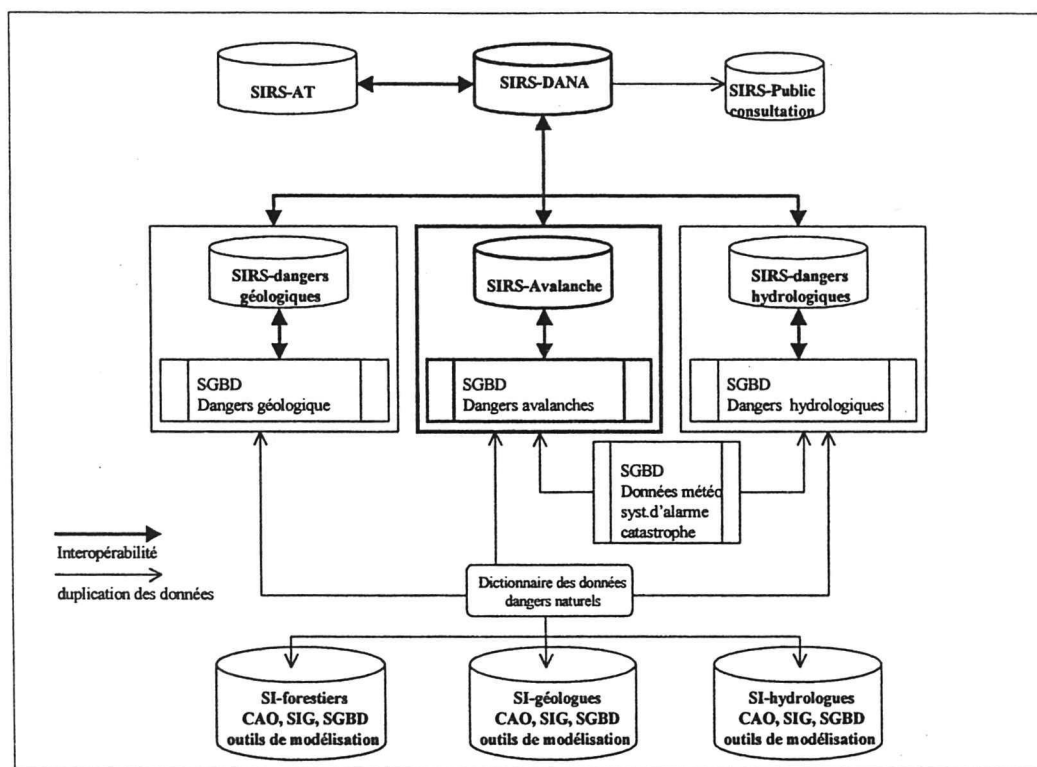


Fig. 3 : Structure générale du SIRS-DANA (extrait et simplifié de GREPPIN 1998)

L'architecture logicielle du projet SIRS DANA doit être élaborée en prévision d'une intégration dans le système d'information de l'ensemble de l'administration valaisanne. Elle est passablement complexe et n'est pas encore établie clairement. Nous n'en présenterons par conséquent que les grandes lignes. Afin de permettre l'échange d'un volume considérable d'informations, la mise en place d'un serveur de données associé à une base de données relationnelles (Oracle) semble essentiel. Il rendra possible le stockage de l'ensemble des données spatiales et thématiques et optimisera leur gestion et diffusion (par exemple en ne retournant que le set de données demandé par la requête effectuée). Les divers responsables de dangers travailleront *quant à eux* sur des logiciels relativement accessibles tels que le SGBDR Access et le SIRS de bureau ArcView. Un outil SIRS professionnel (ArcInfo) également lié au système sera utilisé pour les traitements plus complexes et pour les mises à jour des différentes couches d'information. Une telle architecture permettra à l'ensemble des partenaires d'accéder facilement à toutes les données conformes aux dernières mises à jour et rendra possible la mise en place d'une gestion pluridisciplinaire des dangers, et ainsi, d'une « gestion concertée du territoire ». Ce SIRS constituera alors un véritable « système d'information du territoire » permettant d'intégrer des activités et partenaires nombreux (GOLAY 1999 : 14, 16)

### 5.4.2 SIRS DANA : données et traitements

#### Données

Le projet SIRS DANA prévoit d'intégrer plusieurs couches d'information spatiales de même que les données attributaires concernant les divers objets spatiaux. La base de données attributaire comportera par exemple des indications sur le statut de protection des ouvrages, les intensités pour les divers temps de retour, les degrés de danger, etc. Notons également des données thématiques sur les objets menacés qui seront liées aux zones de danger ou zones de danger résiduel. Afin de mieux saisir les traitements qu'un tel SIRS pourra proposer, il est essentiel de présenter les données spatiales qui devraient y être intégrées, soit (GREPPIN 2000 : 13-15 ; GREPPIN 1998 : 35-37) :

- **Les cartes d'intensité par scénario** de chaque de type de danger (d'avalanches, géologique, hydrologique). Ce sont des cartes élaborées par des spécialistes qui seront les seuls à être en droit de les modifier, ce qu'ils devront faire lorsque la construction de mesures de protection modifiera la probabilité de réalisation de certains scénarios.
- **Les cartes de danger avant et après protection** : ces deux cartes résultent de la compilation des cartes d'intensité ; elles sont ensuite unies en une couche d'information, le « thème composite de synthèse ».
- **Les cartes de danger résiduel**: ces cartes de synthèse des divers projets représentent la situation réelle de protection et permettent de visualiser l'influence de l'ouvrage de protection planifié ou construit.
- **Les cartes de danger de synthèse de chaque discipline** : elles sont construites à partir de la superposition des cartes de danger réalisées dans le cadre des divers projets. Néanmoins, seule leur description pourra être modifiée et non leur géométrie, une nouvelle étude des dangers devant être réalisée par des experts afin de pouvoir changer les périmètres de danger. Ces cartes sont un élément central du processus de décision et doivent être liées à toutes les entités spatiales et thématiques.
- **La carte de danger interdisciplinaire** résulte de la superposition des cartes de danger des trois domaines et n'est mise à jour que lorsque les cartes de danger de synthèse des disciplines sont modifiées.
- **Les périmètres d'un projet danger** : permettrait de visualiser les zones étudiées des zones non étudiées.
- **Les phénomènes naturels** : ces données comportent les délimitations des divers objets naturels (cours d'eau, cadastre des avalanches, etc.) ainsi que les attributs les concernant : elles donnent ainsi une information sur le milieu naturel.



- **Mesures de protection** : ces entités pourront être spatiales en ce qui concerne les mesures constructives ou sylvicoles, les mesures de surveillance étant seulement décrites par des données thématiques.

### Traitements

Les traitements sont les moyens permettant de transformer les données en information significative. La plupart des traitements offerts par le SIRS DANA sont liés à une démarche de « **diagnostic de la situation de danger ou analyse des causes** » (GREPPIN 2000 : 5). Cette démarche doit permettre aux intéressés d'évaluer si les cartes de danger sont conformes à la situation réelle de danger. Les traitements proposés permettront de récupérer les informations détaillées pouvant être nécessaire lors d'un nouveau projet, d'une demande d'autorisation de construire ou d'attribution d'un préavis pour une construction, d'un changement d'affectation, etc. Les concertations entre les divers responsables seront ainsi considérablement facilitées.

Grâce à différentes opérations, les responsables pourront déterminer tous les conflits, leurs causes et les mesures qui concernent une certaine portion du territoire, et ce, à différentes échelles de précision : il sera possible de déterminer tous les périmètres de danger et les phénomènes naturels qui leur sont liés, d'affiner ce diagnostic en consultant les cartes d'intensité suivant les divers scénarios, ou de ne considérer qu'une échelle globale grâce à la superposition des périmètres de danger. Ce dernier traitement permettra de prendre en compte tous les processus naturels lors d'une prise de décision pour la construction d'un projet de défense. Notons également des traitements permettant d'évaluer l'effet des ouvrages, soit simplement en mettant en relation l'ouvrage et les périmètres de danger qu'il protège, soit en consultant les cartes d'intensité avant et après construction des ouvrages. Il sera aussi possible de vérifier si les événements récents sont bien pris en compte dans les cartes de danger en superposant ces dernières avec les périmètres des événements. D'autres traitements concerneront plus particulièrement le « fonctionnement » du système : notons entre autres ceux permettant de contrôler le respect des contraintes de qualité des données spatiales et attributaires (contenu et cohérence des bases de données), d'autoriser la diffusion de la carte de danger interdisciplinaire, ou encore de dupliquer et archiver la carte de danger interdisciplinaire dans l'historique (GREPPIN 2000 : 5-8).

Les responsables des dangers auront ainsi un outil permettant des **études sectorielles** sur l'effet des mesures (lien entre mesures, périmètres de danger et événements naturels) et l'interaction entre processus (lien entre périmètre de danger et objets du milieu naturel). A un niveau opérationnel, les cartes de synthèse vont permettre une **vision globale** de la situation de danger. Elles seront confrontées avec les données plus détaillées (mesures, cartes d'intensité) lors d'un événement. Cette information simplifiée de synthèse sera diffusée aux services non spécialisés. Un tel système devrait également permettre une planification globale des mesures et l'établissement d'un ordre de priorités, grâce à une confrontation des données de l'aménagement du territoire et des cartes superposant les périmètres de danger.



## 5.5 Conclusion intermédiaire: les SIRS comme outil de gestion

Les SIRS ont connu un développement considérable ces dernières décennies ; grâce à de fortes évolutions technologiques et informatiques, les logiciels SIRS sont de plus en plus puissants et performants : ils permettent entre autres de traiter des données à la fois spatiales et thématiques, ils superposent de nombreuses couches d'information et favorisent des analyses transversales. Ils peuvent également gérer des volumes de données considérables et faciliter leur accès. Ainsi, beaucoup des problèmes amenés par une complexification de la gestion des dangers semblent pouvoir être traités par ces systèmes d'information géographique. Par exemple, ces systèmes vont non seulement régler la question du volume croissant de données sur les projets d'ouvrages de protection et sur les caractéristiques physiques des phénomènes et de leurs événements, mais vont également permettre une superposition des cartes de danger avec des données de l'aménagement du territoire dans le but d'évaluer les zones de conflits.

Le projet SIRS DANA nous a permis de préciser les apports d'un tel système dans le domaine de la gestion des dangers et de l'aménagement du territoire : l'intégration des données de chaque domaine dans un système centralisateur va permettre une exploitation facilitée de toute l'information disponible. Le SIRS DANA apparaît comme être un outil indéniable d'aide à la gestion des dangers naturels. Ce projet s'insère dans cette récente évolution de la gestion des risques qui tend vers une prise en compte globale des dangers naturels. Il semble ainsi pouvoir fournir un outil répondant à ces futures exigences.

Le SIRS DANA est néanmoins toujours au stade de projet actuellement. Sa mise en place est complexe et n'est réalisable qu'à long terme, lorsque les divers SIRS dangers seront réalisés. Or, la conception de ces SIRS nécessite un énorme investissement temporel et financier, en ce qui concerne la mise en place de la structure du système et l'acquisition des données, qui ne sont généralement pas exploitables par un SIRS à l'heure actuelle. La mise en œuvre du SIRS « dangers superposés » demandera également la mise en place de toute une infrastructure, afin d'être accessible par les services de l'État, les ingénieurs forestiers, les communes, les bureaux privés, etc. et permettre une exploitation de toutes ses potentialités. Ces projets sont également tributaires de la réelle volonté de modernisation des divers responsables.

Un autre problème pourrait se poser : le projet SIRS DANA a été amené par des experts pour pallier le manque de coordination entre les divers projets SIRS qui étaient en train de se mettre en place. Il ne découle donc pas directement d'une volonté des divers responsables de faciliter la prise en compte de la globalité des dangers dans leurs activités de gestion. La réflexion des futurs utilisateurs ne s'est donc pas faite selon l'ordre préconisé par la plupart des méthodes de conception des SIRS, soit de partir du général au particulier. Il n'est donc pas certain que les divers responsables des dangers soient tous vraiment convaincus d'un tel système d'information.

Les réflexions amenées par le SIRS DANA ont néanmoins permis d'orienter les divers projets géomatiques vers une optique globale et non plus seulement cantonnée aux divers services, notamment en donnant des directives quant à la digitalisation des données afin de pouvoir les intégrer à terme dans le concept global. Dans le prochain volet de notre étude, nous allons passer à la présentation du SIRS Avalanches puis à l'évaluation de la mise en oeuvre de la partie relative aux ouvrages de protection de ce SIRS. Notre travail s'inscrit ainsi logiquement dans la suite des études réalisées par GREPPIN sur le SIRS DANA : chaque sous-système du projet global doit être étudié et mené séparément. Il décrit lui-même son étude comme un « point de départ pour des études plus détaillées » (GREPPIN 1998 : 5), chaque SIRS ayant ses caractéristiques spécifiques.

**III DE L'AVALANCHE A LA  
PRISE EN COMPTE DU  
DANGER EN VALAIS**

## 6 Les avalanches

Au cours de ce travail, nous allons nous limiter aux avalanches qui sont un phénomène fréquent dans les régions de montagnes en période hivernale et constituent un risque naturel majeur primordial vu l'importance de l'habitat permanent et des voies de communications dans ces régions. Avec leur force de destruction, elles peuvent ainsi conduire à d'importants dégâts tant sur les infrastructures humaines que sur les ressources naturelles (forêts et zones agricoles). Les portions du territoire soumises à leur influence sont toutefois délimitables, du fait que les avalanches sont un phénomène localisé (tout comme les autres phénomènes gravitaires). Les hommes vont par conséquent pouvoir intervenir sur ces phénomènes et aménager l'espace en conséquence : ils vont gérer ce risque. Avant de traiter des actions de l'homme à l'encontre les avalanches, il est néanmoins nécessaire de mieux saisir la dynamique du processus : nous allons donc commencer par présenter brièvement l'avalanche en tant que phénomène physique et traiterons de la gestion de ce risque naturel dans une deuxième partie. Nous terminerons en exposant le projet SIRS Avalanches qui est en voie d'être mis en place pour faciliter une telle gestion.

Tout d'abord, une petite réflexion sur le terme « avalanche » s'impose : on constate en effet que ce terme implique trois concepts différents. On peut parler d'avalanche en tant qu'*événement*, caractérisée ainsi par un lieu, un instant dans le temps et par ses caractéristiques (physiques et dommages occasionnés). On fait ainsi référence à une avalanche particulière. Le terme *aléa* va être utilisé pour désigner une avalanche extraordinaire qui s'écarte des situations moyennes ou sera adopté par les experts pour faire allusion à la conceptualisation d'un scénario d'avalanche majeure. Finalement, le terme avalanche peut faire référence au *phénomène physique* en tant que tel, étudié par les scientifiques : c'est une généralisation des événements, qui prend en compte les caractéristiques générales des avalanches. Il n'y a donc pas de référence à une occurrence ou situation spécifique (ANCEY & CHARLIER 1996 : 12 ; HEROLD-REVAZ, et al. 1998 : 7). Dans ce chapitre, nous allons donc traiter des avalanches en tant que "phénomène physique" puis allons proposer une classification des avalanches afin d'éclaircir ce phénomène.

### 6.1 Le manteau neigeux et ses métamorphoses

L'avalanche est un phénomène gravitaire et climatique soudain : c'est un glissement rapide de masses de neige sur un versant. Elle peut être de dimensions fort variables, que ce soit au niveau de la quantité de neige mise en mouvement, de la distance parcourue ou encore de la vitesse maximale atteinte. Ce phénomène peut en effet engager des volumes de neige allant d'une dizaine jusqu'à plus d'un million de mètres cubes, et ce sur des distances variant de moins de 50 mètres à plusieurs centaines de mètres (ANCEY & CHARLIER 1996 ; HEROLD-REVAZ et al. 1998 : 7 ; LOUP 1999 : 21). Un site avalancheux se compose de trois zones : premièrement, la zone d'accumulation de la neige, qui

correspond à la zone de départ ou de déclenchement de l'avalanche. Vient ensuite la zone de transit où s'écoule la majeure partie des événements et finalement la zone de dépôt ou d'arrêt de l'avalanche. Le déclenchement de ces mouvements de masse est lié à des facteurs topographiques et climatiques, qui modifient la structure du manteau neigeux. Afin de bien saisir ce phénomène, il est nécessaire de clarifier la constitution du manteau neigeux et les facteurs modifiant sa cohérence.

Le manteau neigeux est constitué de plusieurs strates nivologiques différentes selon la forme des cristaux de neige fraîche qui les composent. Leur forme, déterminée par les variations de température et du degré d'humidité rencontrés par le cristal, conditionnera ainsi directement la résistance de la neige lors de l'agglomération des cristaux en flocons (qui se fait à une température proche du 0° C) : les étoiles seront par exemple bien liées entre elles, au contraire de la neige roulée ou givrée (petits grains dus à la formation très forte de grésil<sup>14</sup>) qui voit sa résistance diminuer.

L'état de la neige au sol dépendra ensuite de plusieurs facteurs, et principalement de la température et du vent. La température influence le type de neige : sèche par temps froid, elle sera humide (cristaux plus volumineux et plus lourds) par temps doux. Cette neige fraîche va ensuite subir un tassement sous les effets de son propre poids et du vent qui favorisent la désagrégation des cristaux : c'est la *métamorphose destructive*. La température est encore responsable de deux autres modifications du manteau neigeux. Premièrement, le gradient de température entre le sol (plus chaud) et la surface de la neige est responsable d'une migration de vapeur d'eau vers la surface, qui, lors de son dépôt, va induire une croissance rapide des cristaux. Lors de cette métamorphose dite *constructive*, les grains prennent la forme de gobelets, leurs liaisons diminuent et par conséquent la résistance de la neige s'amointrit. Cette métamorphose donnera du givre de profondeur (neige de résistance réduite) dans les couches près du sol lorsque l'épaisseur de neige est faible, ainsi qu'aux endroits à l'ombre ou dans les dépressions de terrain où la neige est peu comprimée. Deuxièmement, on verra l'apparition d'eau liquide entre les grains lors d'un réchauffement de la température ou lors de pluie. La cohésion entre les grains va ainsi diminuer dans un premier temps, mais se verra fortement renforcée en cas de regel. C'est la métamorphose *de fusion*. Notons finalement la formation de gelée blanche (cristaux de glace transparents) quand la vapeur d'eau se précipite sur la couverture de neige lors d'un refroidissement. Ce givre de surface a une résistance faible : il peut ainsi être cause d'avalanche en faisant office de couche de glissement lorsque de la nouvelle neige se dépose sur celui-ci.

Toutes ces modifications importantes qui ont constamment lieu au sein du manteau neigeux conditionnent fortement la stabilité ou l'instabilité de la neige, chaque type de neige ayant une certaine **densité, déformabilité et résistance**. Ce sera ensuite l'interaction de ces trois facteurs et de la charge (poids de la neige ou surcharge due au passage d'un skieur principalement) qui déterminera le

---

<sup>14</sup> Le grésil dénote une solidité élevée de chaque cristal de neige. Dans un premier temps, il permet une augmentation de la résistance de la neige; mais lorsque sa formation est trop importante, la capacité d'agglomération des cristaux est fortement réduite.

déclenchement des avalanches. Leur formation va également dépendre de paramètres liés à la topographie et aux conditions climatiques qui lui sont liées<sup>15</sup>, comme nous allons le présenter dans le prochain chapitre.

## 6.2 Incidence des conditions topographiques et climatiques

Le rayonnement solaire varie de manière significative selon l'exposition du versant et la déclivité de la pente: il est deux fois plus fort sur les versants sud, les versants escarpés d'orientation nord ne recevant quant à eux aucun rayonnement direct en plein hiver. Comme c'est principalement la fonte et le regel des cristaux qui permettent leur agglomération, et ainsi une solidification du manteau neigeux, la neige des versants nord conservera plus longtemps une faible cohésion et sera plus abondante. Les pentes bien exposées au soleil se caractérisent quant à elles par de grands changements quotidiens du danger d'avalanche avec les variations du rayonnement: la neige aura une cohésion faible dès la mi-journée lorsque sa température est élevée (forte teneur en eau). A noter que l'altitude a également une importance indéniable: comme les températures y sont plus basses, la consolidation du manteau est ralentie; l'enneigement précoce permet néanmoins une longue transformation de la neige.

L'augmentation de l'abondance et de l'intensité des précipitations avec l'altitude est également un facteur primordial qui influence directement l'activité avalancheuse: des chutes de neige intenses ne permettent en effet pas à la neige de se consolider au fur et à mesure. La quantité de neige a aussi son importance car le poids propre de la couverture de neige cause un mouvement de reptation lent et constant, qui s'accélère avec l'épaisseur de neige. Le danger d'avalanche dépend ainsi considérablement de l'intensité de la chute de neige (mesuré en tant qu'accroissement de l'épaisseur de neige fraîche pendant une unité de temps) et de l'épaisseur de neige fraîche. Comme la répartition de la neige varie beaucoup selon l'altitude et le relief, le danger d'avalanche peut être très différent d'un endroit à l'autre. Les vents forts qui accompagnent généralement les précipitations en montagne vont induire une telle inégalité: les flocons ne tombent plus à la verticale et sont de plus transportés et déposés par le vent dans les endroits plus abrités (combes, versants sous le vent), lesquels seront ainsi caractérisés par une surcharge de neige. Cette accumulation de neige ventée et cette surcharge peuvent rompre l'équilibre du manteau neigeux. On voit par conséquent un lien entre le défaut d'homogénéité de la répartition de la neige et l'activité avalancheuse.

A mentionner également l'importance de la diminution de la végétation avec l'altitude: la majeure partie des avalanches se déclenche au-dessus de la limite supérieure de la forêt. Celle-ci joue en effet un rôle protecteur, car non seulement, elle freine le vent, diminue ainsi le transport de neige et rend la répartition de la neige très inégale à grande échelle, mais diminue également momentanément la

---

<sup>15</sup> Nous avons en effet pu constater la forte interaction entre la topographie et le climat au cours de la quatrième partie de cette étude.



quantité de neige (déposée sur les arbres), laquelle sera déjà partiellement transformée lorsqu'elle atteindra le sol.

Notons finalement que les forces de traction, de compression et de cisaillement qui ont lieu au sein du manteau neigeux varient selon la déclivité, qui sera ainsi également un paramètre important. Les avalanches se déclenchent sur des pentes raides, qui sont plus propices à des mouvements gravitaires. De plus, la compression de la neige diminue avec l'augmentation de la pente. Précisons néanmoins que des pentes trop raides sont moins favorables au déclenchement d'avalanches, la neige ne s'y accumulant pas mais glissant vers le bas au fur et à mesure. Il a été défini que les avalanches se déclenchaient généralement sur des pentes comprises entre 28° et 58° degrés.

On a pu constater que de nombreux paramètres climatiques et topographiques jouent un rôle important quant au déclenchement des avalanches. Les conditions amenant leur formation pouvant être très diverses, on observera ainsi différents types d'avalanches. Nous allons donc présenter une classification des avalanches afin de terminer cette étude physique du phénomène.

### 6.3 Classification des avalanches

Une typologie des avalanches va nous permettre de décrire ce phénomène plus précisément. La littérature propose des classifications bien différentes selon les auteurs, mais on peut tout de même en distinguer deux principales. La première les différencie selon la structure du manteau neigeux (état de la neige et mode de départ) et la cause du départ. De telles typologies distinguent généralement trois types : les avalanches de poudreuse, de plaque et de fonte. Cette méthode ne semble pas judicieuse, une avalanche pouvant vérifier plusieurs de ces critères (une avalanche de fonte peut partir sous forme de plaque, par exemple). Il nous paraît plus pertinent d'adopter une classification tenant compte de la composition de la neige ainsi que des caractéristiques extérieures relatives à la zone de départ et de transition. Nous adoptons celle proposée par ANCEY & CHARLIER (1996) : elle nous semble en effet relativement bien représenter le réel et elle rejoint de plus la classification internationale des avalanches et celle adoptée par l'Etat du Valais (WUILLOUD (c) : 12-13).

On peut initier la classification en distinguant deux types principaux d'avalanches, liés à la nature de la neige (principalement à son taux d'humidité) dans l'aire de départ et ainsi, à leur mode d'écoulement dans la zone de transition : l'**avalanche de neige poudreuse**, caractérisée par une neige sèche, de faible densité, et l'**avalanche coulante**, qui résulte d'une neige de plus forte densité de par au degré d'humidité plus élevé. Le premier type est un écoulement de neige très rapide : il peut atteindre des vitesses de 80 à 110 m/s et se présente sous la forme d'un nuage composé d'air et de particules de neige, qui constitue un aérosol. Le deuxième type, plus fréquent, est un écoulement plus lent (généralement inférieur à 10 m/s) le long du sol. Les trajectoires de ces dernières avalanches sont influencées par le relief et sont généralement similaires d'une année à l'autre (GOUT 1993 : 36-39). On peut également observer des

avalanches mixtes qui comprennent une combinaison de ces deux types, le manteau neigeux étant généralement composé de strates nivologiques de différentes natures (sèches et humides).

Afin d'affiner la classification, il est ensuite nécessaire d'observer les caractéristiques de l'aire de décrochement. Premièrement, le mode de rupture est important : une rupture linéaire perpendiculaire à la ligne de pente déclenchera une **avalanche de plaque de neige**. Un tel cas s'observe lorsque des couches solides reposent sur une couche de cohésion plus faible. La rupture sera ponctuelle dans le cas d'une neige de faible cohésion ; on aura donc une **avalanche de neige meuble**, laquelle part d'un point et voit son volume augmenter avec la distance parcourue. L'ampleur et la vitesse de ces dernières sont moindres par rapport aux précédentes. Il va certes sans dire que des formes de transition sont observables.

Deuxièmement, la position de la surface de glissement est significative : elle différencie les **avalanches de surface**, lorsqu'elle se situe à l'intérieur du manteau neigeux, des **avalanches de fond**. Dans ce second cas, toute l'épaisseur du manteau neigeux est mise en mouvement, le plan de glissement se trouvant au niveau du sol. On peut ensuite encore tenir compte des caractéristiques de la zone de transition où l'écoulement de l'avalanche a lieu : on aura des **avalanches de versant** sur une pente ouverte et des **avalanches de couloir** qui s'écoulent dans des zones confinées.

Les caractéristiques du dépôt étant directement liées au type d'avalanche, elles aident ainsi à préciser son type : notons par exemple que le dépôt d'une avalanche de poudreuse s'étend sur une surface considérable alors que celui d'une avalanche coulante se présentera sous forme de cône. On le décrit généralement en considérant « [sa] surface, son extension, la nature de la neige immobilisée (une forte teneur en eau induisant un dépôt grossier), et la présence éventuelle d'éléments étrangers » (ANCEY & CHARLIER 1996 : 19).

Le genre de dommages occasionnés détermine ensuite l'importance de l'événement aux yeux de la population : les **avalanches catastrophiques** ou **avalanches de vallées** ont souvent une grande ampleur : d'importantes masses de neige sont mobilisées et l'écoulement s'étend sur de longues trajectoires, souvent de plusieurs kilomètres. Elles touchent des lieux habités et des voies de communication. Leur période de retour varie suivant les cas, mais on peut dire qu'en moyenne, les grosses avalanches se déclenchent tous les 10 à 30 ans et celles d'ampleur exceptionnelle, tous les 100 ans. Les **avalanches de skieurs** sont principalement liées au ski hors-piste et touchent ainsi principalement les skieurs ; elles n'ont généralement pas d'impact sur les biens matériels et infrastructures (SALM 1983 ; WUILLOUD (c) : 13). Le tableau récapitulatif suivant permet de synthétiser les informations.

CARACTÉRISTIQUES EXTÉRIEURES	DIFFÉRENCIATION ET TYPES D'AVALANCHES	
Nature de la neige (humidité)	Neige sèche de faible densité	Neige mouillée de forte densité
Mode d'écoulement	Avalanche poudreuse	Avalanche coulante
AIRE DE DÉCROCHEMENT		
Mode de rupture	Linéaire Avalanche de plaque de neige	Ponctuel Avalanche de neige meuble
Position du plan de glissement	Au sein du manteau neigeux Avalanche de surface	Sur le sol Avalanche de fond
ZONE DE TRANSITION		
Topographie	Pente ouverte Avalanche de versant	Zone confinée Avalanche de couloir
IMPORTANCE	Avalanches catastrophiques, de vallées	Avalanches de skieur

Tabl. 2 : Classification des avalanches (schéma adapté de WUILLOUD (c) et de ANCEY& CHARLIER 1996).

Nous avons ainsi clarifié les avalanches en tant que phénomène ; nous allons maintenant préciser leur importance dans les Alpes et principalement en Valais, en présentant quelques événements et leurs conséquences.

## 6.4 Les sinistres d'avalanches dans les Alpes et en Valais

De par leurs caractéristiques topographiques et climatiques, les Alpes et le Valais sont des régions propices aux avalanches. Ces dernières constituent ainsi en période hivernale un danger naturel localisé aux conséquences importantes pour ces régions passablement anthropisées : elles mettent en danger des villages, peuvent couper les voies de communication et isoler les vallées. En effet, si l'on ne tient compte que des **dommages directs**, on constate une moyenne annuelle de 140 sinistres (personnes, bâtiments, voies de communication, forêts) et de 25 décès sur l'ensemble des Alpes suisses.<sup>16</sup> Viennent ensuite s'ajouter tous les dommages **indirects**, dus, par exemple, à la fermeture des voies d'accès : conséquences sociales, retombées négatives sur l'économie touristique. La présentation de quelques événements nous permettra de mettre en évidence la fréquence de ces événements et les enjeux impliqués.

Dans un premier temps, les avalanches n'ont touché que des expéditions militaires et des pèlerins, qui étaient les seuls à emprunter les cols alpins. La

<sup>16</sup> Selon une statistique des dégâts et victimes d'avalanches établie sur plusieurs décennies, WUILLOUD (c) : 7.

première avalanche répertoriée remonte à l'époque d'Hannibal qui perdit un nombre important d'hommes (18'000) et chevaux lors de sa traversée des Alpes en 218 avant Jésus-Christ. On retrouve ensuite des documents relatant des événements catastrophiques dès le XII<sup>e</sup> siècle, mais c'est surtout à partir du XVI<sup>e</sup> siècle que ces événements commencent vraiment à être répertoriés, dans des notes historiques témoignant d'hivers lourds en conséquences. Si l'on ne considère que les plus importants événements survenus entre le XVI<sup>e</sup> et la fin du XIX<sup>e</sup> en Valais, on dénombre un total de 740 décès (SCHNEEBELI et al. 1998 : 123-32). Mentionnons entre autres les 61 victimes en 1518 à Loèche-les-Bains, 140 à Bagnes en 1595, l'hiver catastrophique de 1720 avec 163 morts, etc. (WUILLOUD (c) : 6). Même si les avalanches ont été de tout temps responsables de la mort d'hommes, leurs conséquences s'aggravèrent de plus en plus avec l'augmentation de la mobilité des hommes et l'élévation de l'habitat permanent en montagne.

Si l'on se penche sur les événements d'avalanches survenus au XX<sup>e</sup> siècle, on dénombre au cours de la première moitié du siècle un total de 765 avalanches ayant amené la mort de 1299 personnes ; de 1936 à nos jours, le nombre de décès s'élève à 1612, ce qui fait pour la Suisse une moyenne de 25 morts par année<sup>17</sup>. Les Alpes suisses subissent en effet des hivers à fortes chutes de neige à intervalle régulier, lesquels entraînent souvent des situations catastrophiques. Notons que depuis la deuxième moitié de ce siècle, ce sont les Alpes orientales et centrales qui ont été les plus soumises à ce type de dangers naturels. L'hiver 1950-51 fut la période la plus catastrophique quant au nombre non seulement de victimes, avec 1301 personnes emportées par les avalanches dont 98 sont décédées (73 dans des habitations), mais également d'avalanches ayant causé des dommages. Ce sera une année charnière dans l'histoire de la gestion des avalanches en Valais : comme nous le verrons, les drames qui se sont déroulés au cours de cet hiver ont renforcé la politique de sécurité.

Tout dernièrement, l'hiver 1998-1999 nous a montré à quel point le danger d'avalanches était encore présent actuellement, malgré toutes les mesures prises du point de vue de la prévention et protection contre ce risque depuis 1951. En effet, en un mois, entre le 26 janvier et le 25 février, une hauteur totale de neige de plus de 5 mètres est tombée en trois phases au nord des Alpes Suisses (DUFOUR 1999 : 24). De telles quantités de neige n'avaient jamais été observées dans des situations météorologiques similaires. Les conditions étaient de plus défavorables à la consolidation du manteau neigeux, principalement à cause du vent. La situation est ainsi devenue très critique : pendant le mois de février, on a pu dénombrer un total de 850 avalanches environ, qui ont causé la mort à 36 personnes, dont 5 sur des routes ouvertes et 9 dans des bâtiments (12 décès à Evolène) et occasionné des dégâts pour un montant de 620 mio de francs, dont 440 de coûts directs (SLF 2000 : 264). Sur l'ensemble de l'hiver, on compte environ 4000 avalanches, dont 1200 qui ont induit des dégâts et 77 qui ont enseveli un total de 131 personnes, 28 d'entre elles situées dans des zones habitées (dont 17 sont décédées). Les dégâts ont été d'une ampleur rarement atteinte : 141 bâtiments ont été détruits, plus de 145 constructions ont été endommagées (LOUP 1999 : 23) et 215 avalanches ont coupé des voies de

---

<sup>17</sup> Statistiques de l'Institut pour l'étude de la neige et des avalanches, Davos.

communication (PLANAT 1999). Ce fut l'hiver le plus dévastateur quant à la valeur financière des dommages, ce qui témoigne de la valeur croissante des infrastructures de montagne. Cette situation exceptionnelle a été estimée d'une période de retour de 80 à 100 ans ou de 30 à 50 ans si l'on ne tient compte que de la hauteur totale de neige (DUFOUR 1999 : 29).

Nous avons choisi le Valais comme ensemble géographique car ce canton fait partie de ces régions fréquemment concernées par les avalanches. Ce phénomène naturel y est omniprésent : en effet, sur ses 163 communes 160 d'entre elles sont concernées par les avalanches, qui sont au nombre de 3200 (sans prendre en compte celles situées dans les secteurs les plus reculés). Notons que 10% de ces avalanches menacent des villages et des voies de communication. Le cadastre cantonal des avalanches réalisé en 1988 a mis en évidence l'importance de ces zones de conflit : sont menacés, environ 4.5 mio de m<sup>2</sup> de zone bâtie et à bâtir et environ 13.5 mio de m<sup>2</sup> de zone agricole, de même que plus de 102 km de routes cantonales, 84 km de routes communales et 21 km de lignes de chemins de fer (WUILLOUD (c) : 22). Afin de se rendre compte de l'importance de ce phénomène en Valais, nous allons préciser quelques événements marquants survenus pendant cette deuxième moitié du siècle.

L'avalanche de Reckingen en 1970 doit être mentionnée : elle fit 30 victimes et a induit des dégâts matériels s'élevant à plus de 12.8 mio de francs. Comme cette avalanche n'était pas descendue depuis près de deux cents ans, cette catastrophe fut un choc pour tout le canton. En 1985, c'est une avalanche sur une route cantonale entre Täsch et Zermatt qui causa la mort à 11 personnes (WUILLOUD (c) : 6).

L'hiver 1998-99 nous a dernièrement montré que le Valais était l'un des cantons les plus touchés par les avalanches : selon les données du SLF (2000 : 196), 70% du total des dégâts aux bâtiments en Suisse et 50% des dommages dus à la pression de la neige sont imputés au Valais. C'est également le canton qui a été caractérisé par des routes barrées pendant le plus grand nombre de jours, soit 897, le canton suivant étant les Grisons, avec un total de 347 jours. D'importants projets de protection des routes ont de fait été planifiés par le Valais et les Grisons (SLF 2000 : 222-29). Il faut noter que 36% des dégâts sont en effet survenus sur des tronçons routiers. Les coupures de courant les plus importantes se sont également observées en Valais (SLF 2000 : 243). Cet hiver a aussi détruit 1400 hectares de forêts, ce qui correspond à 160'000 m<sup>3</sup> de bois pour la Suisse dont environ 24'000 m<sup>3</sup> pour le Valais. En ce qui concerne les dommages aux surfaces agricoles, le Valais est à nouveau en tête, avec 260 hectares touchés, pour un montant s'élevant à cinq millions de francs (SLF 2000 : 258-63). Les régions du Valais les plus touchées au cours de l'hiver 1998-99 se situent principalement en rive gauche : notons le Val d'Entremont, le Val d'Anniviers ainsi que les villages d'Evolène et de Lourtier ; en ce qui concerne le Haut-Valais, mentionnons le Lötschental et la vallée de Conches.

Les avalanches constituent ainsi un risque important nécessitant d'être pris en compte dans les questions d'aménagement du territoire. La partie suivante nous permettra de présenter la manière dont ce risque est géré dans notre région d'étude.



## 7 La gestion des dangers d'avalanches en Valais

Nous avons précédemment traité de la gestion des dangers et risques naturels en général ; or, avant de passer à l'application pratique, il est essentiel de préciser en quoi consiste la gestion des dangers d'avalanches en Valais. C'est en effet une organisation complexe, qui comprend divers acteurs et la mise en oeuvre de multiples mesures de planification, de protection et de prévention. Au cours de cette partie, nous allons donc exposer les aspects législatifs et organisationnels, ainsi que les diverses mesures prises pour gérer ce risque. Comme une telle gestion s'est mise en place progressivement au cours des années, nous allons donc commencer par rappeler brièvement les grandes étapes de son développement. Nous insisterons sur l'évolution des mesures de protection en Valais, car ce type de mesures constitue l'aspect de la gestion des dangers d'avalanches sur lequel nous nous sommes concentrée dans notre application pratique. Nous exposerons ensuite la gestion en place actuellement puis terminerons par la présentation du SIRS Avalanches, qui représente la future méthode de gestion adoptée par le Valais.

### 7.1 Premières mesures et évolution

Les premières actions contre les dangers d'avalanche pourraient dater du XVI<sup>e</sup> siècle : cette époque voit l'apparition de bans pour limiter la déforestation des zones à risque. Les premières mesures de construction contre les avalanches, qui se présentaient sous formes de terrasses et murs, ne seront néanmoins réalisées qu'aux environs de la moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle. Notons la réalisation de galeries de protection sur la route du Simplon en 1805, d'abris et de niches dans les murs de la route d'accès à Saas-Grund en 1849. Cette époque se caractérise par les débuts d'une volonté de comprendre, définir et maîtriser les avalanches : les hommes commencent à répertorier les événements d'avalanches, leurs caractéristiques et les ouvrages réalisés. Le **début des statistiques** dans ce domaine est en effet signalé par l'an 1872 lorsque les divers inspecteurs forestiers du canton des Grisons sont mandatés pour entreprendre une telle récolte de données. La création de l'Inspectorat fédéral des forêts en 1874 a ensuite amené une première homogénéisation : tous les cantons alpins ont été chargés de répertorier les avalanches sur des cartes au 1/50'000 ou 1/25'000 (parfois au 1/100'000 lors d'absence de cartes à plus petite échelle) et d'en relever les caractéristiques essentielles, des instructions ayant été données. Ce travail a été réalisé par les responsables forestiers, déjà chargés de la construction des ouvrages de défense.

Ces premières données sur les divers couloirs d'avalanches comprennent des informations se rapprochant déjà de celles collectées actuellement<sup>18</sup> : les avalanches ont été dénombrées selon leur type (coulante, de poudreuse, de

---

<sup>18</sup> Nous préciserons par la suite les diverses données sur les avalanches saisies actuellement.



glacier), leur périodicité (annuelles – une ou plusieurs fois par an – intermittentes – avalanches rares), la saison à laquelle elles se déclenchent, les caractéristiques de la zone de décrochement (par rapport à la limite de la forêt, à l'altitude, à la rugosité du sol et à la zone d'écoulement – forêt/gorges/pâturages/zones bâties). On également été pris en compte leur extension (longueur et superficie) ainsi que le genre d'objets menacés (forêts, terres agricoles, routes, bâtiments). Ces tables ont permis de répertorier, certes avec un certain biais (la définition d'une avalanche n'étant pas bien déterminée), un total de 9368 couloirs à avalanches pour l'ensemble de la Suisse (COAZ 1910 : 4-13 ; 27). La dynamique du phénomène commence à être étudiée et on la met en relation avec le climat alpin (hauteurs de neige par mois, températures). Toutes ces statistiques qui sont peu à peu collectées témoignent d'un besoin de connaître ce phénomène, afin de pouvoir le prévenir par la suite.

Rappelons que cette fin du XIXe signale également le **début des subventions** de la Confédération pour la construction de paravalanches, pour autant qu'un reboisement soit également réalisé (lois de 1874 et de 1902), ce qui va favoriser leur réalisation. De nouveaux types d'ouvrages apparaissent : murs de déviation, coins freineurs, galeries en bois ou en pierre. Ils sont désormais décomptés dans des tableaux de statistiques, qui détaillent les communes concernées, les propriétaires du terrain, le nom du couloir d'avalanches, ainsi que des informations sur le type d'ouvrages, en terre, en fer, murs, et en bois (pieux, ponts, râteliers). Les coûts, subventions et la période de réalisation sont également indiqués.

En Valais, le premier ouvrage répertorié a été commencé en 1872 (COAZ 1910 : 78-9). En 1881, 10 périmètres d'ouvrages de défense sont planifiés et en 1910, on compte un total de 23 projets, dont 12 sont achevés et 11 encore en cours (WUILLOUD 1997 : 1). Les mesures sylvicoles (reboisements), qui prédominaient jusqu'alors, sont ainsi complétées par des ouvrages de construction. Ce sont principalement des terrasses et des murs construits à la main dans les zones potentielles de décrochement en dessus de la limite de la forêt. Ces nombreux murs en pierre (plus de 1'000 km de murs ont été construits entre 1876 et 1938) n'ont toutefois eu qu'une efficacité très limitée (WUILLOUD (c) : 24). Quant aux mesures de protection passive (fermeture de routes, évacuation), elles n'ont commencé à être appliquées qu'à partir des années 1940, avec les premières interventions militaires, et sont devenues possibles grâce à une amélioration de la prévision des dangers d'avalanches. Cette époque signale également le début des déclenchements artificiels d'avalanches (SLF 2000 : 278-79).

Jusqu'au milieu du XXe siècle, la mise en place de **mesures de protection** contre les avalanches ne semble pas encore vraiment au centre des priorités. Notons qu'en 1950, un seul projet est présenté pour approbation en Valais: débuté en 1908 après une avalanche qui avait provoqué la mort de 12 personnes, il était encore ouvert en 1997 (WUILLOUD 1997 : 2). Il faudra attendre l'hiver catastrophique de 1950-51 pour voir une augmentation du nombre de projets de défense et une intensification des recherches dans le domaine des mesures de protection, avec près de 120 projets présentés dans les cinq années suivant ces événements (fig. 4). On va ainsi constater une amélioration et un développement des ouvrages. Une croissance nette de leur nombre et coût va ensuite s'amorcer

dès le milieu des années 1970 pour finir par se stabiliser ces dernières années. A noter également la diminution du montant total des devis, qui semble correspondre au passage progressif vers une gestion des dangers plus ciblée sur la prévention que sur une protection à tout prix.

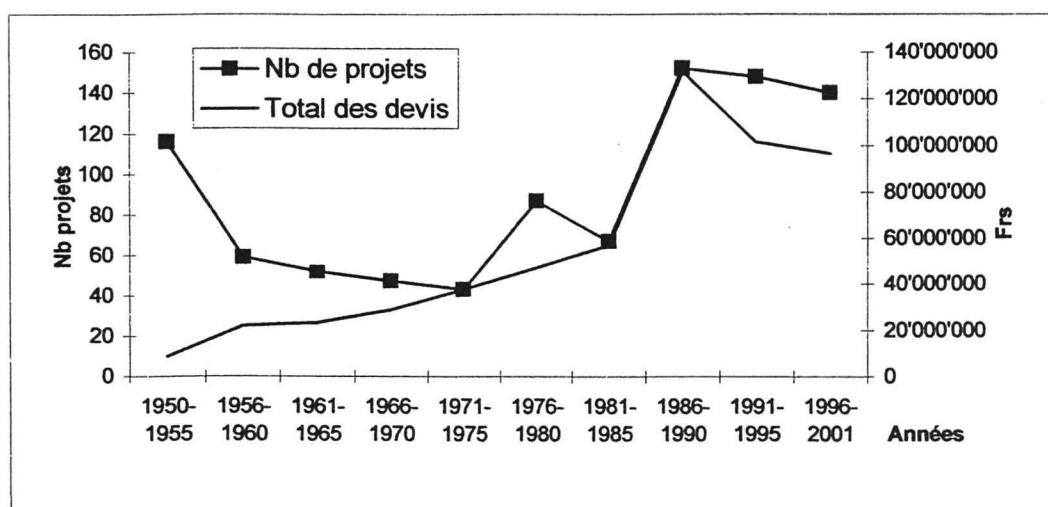


Fig. 4 : Evolution du nombre des projets de protection et des devis de 1950 à nos jours.

Le nombre d'ouvrages (principalement en acier et en bois) aura ainsi augmenté de manière phénoménale, avec des constructions avoisinant 10 km par année jusqu'à nos jours (SLF 2000 : 279). Le périmètre de ces nombreux projets représente une surface totale de l'ordre de 22'900 hectares, dont 3'000 consacrés au reboisement. Ces réalisations correspondent à la mise en place de plus de 115'000 mètres de claies en métal et en aluminium, 5'000 m' d'ouvrages mixtes (acier et bois), 19'400 m' d'ouvrages en bois, 17'400 m' de filets, ainsi que d'une centaine de digues d'arrêt et autant de déviation. Jusqu'à présent, un montant supérieur à 431 millions a été investi. On voit ainsi l'importance que prennent les mesures de protection dans le domaine de la gestion des dangers d'avalanches.

La gestion des risques commence à introduire des **mesures de planification** dès 1961, date des premières cartes de danger<sup>19</sup>. Une amélioration des connaissances sur la dynamique des avalanches et la prise en compte d'événements plus rares ont par la suite amené une adaptation de ces cartes en 1968 et 1977, dont les diverses zones de danger ont de manière générale été étendues. On note ensuite une réduction d'une partie de ces zones en 1991 : la diminution du risque amenée par la réalisation de divers ouvrages de défense est prise en compte (SLF 2000 : 281).

Les **aspects institutionnels** de la gestion des dangers se sont également améliorés à cette époque : les années 1970 voient en effet la création de la section Dangers

<sup>19</sup> Nous présenterons les cartes de danger d'avalanches plus précisément dans le cadre du chapitre 7.2.2 sur les mesures de planification.

Naturels du Service des forêts et du paysage de l'Etat du Valais. Une collaboration au sujet des avalanches et autres risques naturels s'installe ainsi entre l'Etat du Valais et l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (FNP), mais également avec son institut sur la neige et les avalanches (IFENA). Cette collaboration va ensuite s'intensifier en 1995 avec l'établissement d'une convention entre ces deux derniers organismes et le Département de l'environnement et de l'aménagement du territoire du Valais pour la mise en place d'une antenne valaisanne de l'IFENA. Cette sous-station a permis de favoriser les études en milieu alpin car elle était chargée de plusieurs projets sur les avalanches, le transport de neige, les ouvrages, etc. (WUILLOUD 1995). La collaboration entre les divers organismes chargés des études et recherches s'est ainsi améliorée et intensifiée au cours des années. Notons dernièrement les nombreuses études sur la dynamique des avalanches réalisées dans le cadre du projet de recherche de la « Vallée de la Sionne » en Valais. Ce projet résulte d'une collaboration entre le Centre de recherches scientifiques fondamentales et appliquées de Sion, le Service des forêts et du paysage et autres services concernés de l'administration cantonale, les Institutions et bureaux spécialisés dans le domaine des dangers naturels en Valais (Institut Kurt Bösch, ingénieurs forestiers, géologues). A noter que d'autres pays alpins participent à ces essais et recherches, ce qui témoigne d'une collaboration qui se fait internationale (DUFOUR 1999 : 36-41).

Comme on a pu le constater, la prise en compte des dangers d'avalanches a considérablement changé au cours de ces 50 dernières années et d'importants progrès ont été réalisés dans les domaines de la prévention et de la protection, avec un investissement avoisinant les 1.5 milliards de francs. Dans la suite de ce travail, nous allons présenter les composantes principales du mode de gestion en vigueur à l'heure actuelle, ce qui nous permettra de préciser encore ce qu'on entend par « gestion des dangers d'avalanches ».

## 7.2 La gestion actuelle des dangers d'avalanches en Valais

La gestion actuelle des dangers d'avalanches en Valais constitue toute une organisation, qui s'est mise en place au cours des années grâce à une centralisation étatique de plus en plus importante. Elle se base sur des aspects législatifs, qui définissent non seulement les rôles et les responsabilités des divers acteurs mais surtout qui encouragent et obligent la prise en compte des dangers naturels et la mise en place de mesures de protection. Ces dernières constituent l'aspect essentiel de la gestion des dangers d'avalanches : on peut les classer selon trois catégories, les **mesures de planification**, de **protection** et de **prévention**. Les deux premiers types sont des mesures à long ou moyen terme, alors que celles du troisième groupe ont une action ponctuelle dans le cadre d'une gestion de crise. On distingue ensuite les mesures de **protection passive**, qui n'ont pas d'effet direct sur les phénomènes, de celles amenant une **protection active**, qui s'opposent directement au développement du phénomène, ou qui en modifie l'écoulement. Nous allons présenter ces quatre aspects indispensables de la gestion des dangers d'avalanches, en commençant par les aspects législatifs et

poursuivrons ensuite par les trois types de mesures de protection. Celles relatives à la prévention permettront de mettre en évidence les aspects organisationnels.

### 7.2.1 Aspects législatifs

Plusieurs lois fédérales et cantonales traitent des aspects relatifs à la prise en compte des dangers naturels, dont les avalanches. Elles ont été édictées afin d'instaurer des bases uniformes de la gestion des dangers. Nous allons présenter les points essentiels de la législation régissant actuellement ce domaine, ce qui nous permettra de bien définir les rôles et responsabilités de la Confédération, du Canton du Valais et des communes.

#### Lois fédérales

Premièrement, *la Loi sur l'aménagement du territoire* (LAT) du 22 juin 1979 détermine les devoirs des cantons qui sont chargés, entre autres, de délimiter les zones menacées par des dangers naturels<sup>20</sup>. Les aspects liés aux dangers naturels sont ensuite précisés dans le cadre d'une loi et d'une ordonnance :

*La Loi sur les forêts* (Lfo) du 4 octobre 1991 rend les cantons responsables de la protection de la population et des biens matériels importants contre les divers dangers naturels. Ils sont ainsi chargés de la prise de mesures permettant d'assurer une sécurité, par exemple en ce qui concerne les « zones de rupture d'avalanches ». Cette loi précise encore les indemnités allouées par la Confédération pour les mesures de protection (réalisations techniques et sylvicoles), de planification (cartes de danger) et de prévention (services d'alertes, etc.), qui peuvent comprendre jusqu'à 70% des coûts<sup>21</sup>.

*L'Ordonnance sur les forêts* (Ofo) du 30 novembre 1992, précise que les cantons doivent établir des documents de base relatifs à la protection contre les dangers naturels : cadastres, cartes de dangers, et instituer des services d'alerte ainsi que des stations de mesures. Elle expose également les conditions nécessaires pour l'allocation des indemnités : le projet doit être préalablement approuvé par le canton. Il doit également préciser le potentiel de dégâts selon une carte, les zones de danger ou le cadastre, et présenter une indication du devis et une garantie de financement<sup>22</sup>.

#### Lois cantonales

La gestion des dangers naturels est du ressort de chaque canton, qui possède ainsi sa législation spécifique relative aux dangers naturels. Nous allons donc présenter les lois valaisannes qui concernent ce domaine. *La Constitution cantonale* du 8 mars 1907 spécifie l'autonomie des communes quant aux tâches locales qu'elles doivent accomplir<sup>23</sup> : nous verrons en effet que les communes sont chargées de la mise en place des mesures et qu'elles ont un rôle important dans la gestion des dangers.

<sup>20</sup> Loi fédérale du 22 juin 1979 sur l'aménagement du territoire (LAT), RS 700 : art. 6, annexe 5.

<sup>21</sup> Loi fédérale du 4 octobre 1991 sur les forêts (Lfo), RS 921.0 : art. 1, 19, 35-37, annexe 5.

<sup>22</sup> Ordonnance du 30 novembre 1992 sur les forêts (Ofo), RS 921.01 : art 15-17, 42-3, annexe 5.

<sup>23</sup> Constitution cantonale du 8 mars 1907, RS 101.1 : art. 69, annexe 6.

*La Loi forestière cantonale* du 1<sup>er</sup> février 1985<sup>24</sup> concerne plus particulièrement les dangers naturels : elle mentionne l'importance de la conservation des forêts protectrices et des reboisements lors de dégâts induits, entre autres, par les dangers naturels (art. 1, 11, 24). Il est ensuite précisé que le canton alloue des subventions (de 10 à 25%) pour la mise en place de mesures sylvicoles et autres ouvrages de défense dans un but de protection (art. 32, 33) ; les conditions nécessaires pour l'octroi de ces fonds sont également exposées (art. 36). Elle précise également le rôle des communes : elles doivent contribuer à l'entretien des forêts protectrices, établir un cadastre des avalanches et chutes de pierres ainsi qu'une carte des dangers, laquelle doit être prise en compte dans le cadre de l'aménagement du territoire et les autorisations de construire (art. 41, 42). Elles sont aussi chargées de l'entretien des ouvrages de protection subventionnés par l'Etat (art. 35). Elles sont néanmoins secondées dans ces tâches par des inspecteurs forestiers qui leur prodiguent des conseils. Ils veillent également au respect des législations.

*La Loi cantonale sur l'aménagement du territoire* (LCAT) précise cette relation entre les cartes de danger et l'aménagement du territoire, en exigeant d'indiquer les zones de danger dans les plans d'affectation des zones et en interdisant la construction de bâtiments et infrastructures dans les zones de fort degré de danger<sup>25</sup>.

Cet ensemble de lois précise ainsi les responsabilités et les devoirs des communes quant aux aspects relatifs à la protection contre les dangers naturels : elles sont chargées non seulement d'établir et de mettre à jour la carte des dangers d'avalanches, mais également de veiller à ce qu'elle soit prise en compte dans la planification des aménagements territoriaux. Elles reçoivent néanmoins des aides financières de la part du canton et de la Confédération pouvant aller jusqu'à 95% des coûts. Elles sont en contre-partie tenues de contrôler et entretenir les ouvrages construits. Comme nous le présenterons par la suite, elles doivent également prévoir des mesures organisationnelles pour permettre une gestion de crise.

### 7.2.2 Mesures de planification - protection passive, long terme

Nommées « mesures administratives » par DUFOUR (1999 : 33), elles concernent les aspects de l'aménagement du territoire, en permettant une planification à long terme des différentes affectations du sol selon les dangers naturels. C'est une protection « passive » car il n'y a aucune « action » sur le phénomène. Ces mesures comprennent le **cadastre des avalanches**, qui répertorie les différents couloirs, mais surtout les **cartes de danger d'avalanches** qui permettent la prise en considération du danger : réalisées par commune, elles subdivisent le territoire en quatre zones selon différents degrés de danger, lesquels sont calculés comme la multiplication de la probabilité (périodicité) d'une avalanche par son

<sup>24</sup> *Loi forestière cantonale* du 1<sup>er</sup> février 1985, RS 921.1 : art. 1, 5, 11, 24, 32-3, 35-6, 41-2, annexe 6.

<sup>25</sup> *Loi du 23 janvier 1987 concernant l'application de la loi fédérale sur l'aménagement du territoire* (LCAT), RS 701.1 : art. 2, 11, 31, annexe 6.



ampleur<sup>26</sup> par événement et pendant un certain intervalle de temps (WILHELM 1997 : 282) :

- la **zone rouge** signale un danger élevé : la plupart des événements qui s'y manifestent ont une intensité relativement faible mais sont caractérisés par une périodicité élevée (inférieure ou égale à 30 ans) ; notons également les cas d'avalanches extrêmes (pression de 30kN/m<sup>2</sup> ou plus, avec une période de retour allant jusqu'à 300 ans). Le risque y étant important, c'est une **zone d'interdiction** où toute construction est proscrite ;
- la **zone bleue** témoigne quant à elle d'un danger moyen : la probabilité qu'une avalanche atteigne cette zone est plus faible ; l'ampleur de l'événement sera de même moins importante (avalanches d'une pression inférieure à 30kN/m<sup>2</sup> pour une périodicité allant de 30 à 300 ans pour celles d'ampleur maximale). Y sont également possibles des avalanches poudreuses (pression inférieure à 3 kN/ m<sup>2</sup>) mais de périodicité inférieure à 30 ans. C'est une **zone de réglementation**, dans laquelle les constructions sont permises mais soumises à certaines contraintes de construction ;
- la **zone jaune** concerne principalement les portions du territoire pouvant être atteintes par des avalanches poudreuses, difficilement prévisibles (pression égale ou inférieure à 3 kN/ m<sup>2</sup> et périodicité de plus de 30 ans) ou par des avalanches coulantes extrêmement rares. C'est essentiellement une **zone de sensibilisation** ;
- les régions où le danger d'avalanches est considéré comme inexistant sont en **zone blanche** (KUNZ 1998b : 282 ; LOUP 1999 : 13 ; WUILLOUD (c) : 22).

Ces cartes sont ainsi une évaluation du danger d'avalanches ; elles peuvent subir des modifications, lors de nouveaux événements ayant dépassé les limites des précédents, ou lorsque des mesures de protection sont réalisées. Dans un tel cas, la mise à jour des cartes se fait sur demande des communes et est réalisée selon les théorèmes de calculs d'avalanches établis par l'IFENA. La majorité des communes du canton du Valais ont une carte des dangers : leur réalisation a été favorisée par le fait qu'aucune subvention pour des mesures de protection n'est accordée en l'absence d'une telle carte.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre sur la législation, ces cartes doivent être prises en compte dans la planification du territoire ; elles sont donc liées au plan directeur et au plan d'affectation. Notons que des directives ont été éditées en 1984 par l'Office fédéral des forêts et l'IFENA pour préciser cette prise en considération des dangers d'avalanches dans les questions d'aménagement du territoire (WUILLOUD (c) : 22). Ces cartes sont également essentielles en ce qui concerne la prévention et la planification des mesures à long et court terme. En période de crise, elles permettent de déterminer les mesures à prendre (évacuation, fermeture des routes), mais c'est également l'outil de base du

---

<sup>26</sup> L'« ampleur » d'une avalanche correspond à la pression exercée par l'avalanche sur un obstacle et se mesure en kilo Newton.

responsable des dangers naturels lorsqu'il doit évaluer les divers projets de construction d'ouvrages de défense afin de décider de leur approbation.

### 7.2.3 Mesures de protection - protection active, long et moyen terme

Nous avons utilisé le terme de mesures de « protection » pour faire référence aux mesures de protection active, dites « **constructives** » ou « **structurales** » : elles agissent sur les phénomènes eux-mêmes. On distingue en premier lieu les mesures naturelles ou sylvicoles des mesures techniques. Ces dernières se différencient selon leur emplacement relativement au couloir d'avalanches : on notera celles situées dans les zones de décrochement et prévues pour empêcher le départ des avalanches ou du moins réduire la quantité de neige mise en mouvement à une amplitude acceptable ; viennent ensuite celles prévues pour les zones d'écoulement et d'arrêt, qui permettent une action une fois l'avalanche déclenchée. La plupart de ces ouvrages techniques sont permanents, mais on note également la construction d'ouvrages temporaires en bois, généralement combinés avec des mesures de reboisement. Leur durée d'utilisation est de 30 à 50 ans et ils servent de protection le temps que la forêt grandisse et puisse ainsi remplir son rôle de protection.

Les **mesures sylvicoles** sont relativement réduites par rapport aux mesures techniques, avec seulement une quarantaine d'hectares reboisés par année. La forêt ne joue en effet un rôle protecteur que dans la zone de décrochement des avalanches, car une fois celles-ci en plein développement, elles ne vont pas être arrêtées par les arbres, mais vont au contraire en arracher une partie sur leur passage. Or, la majeure partie des zones de décrochement d'avalanches en Valais se situe au-dessus de la limite des forêts. Notons que le 64% des 120'000 hectares de forêt du Valais ont une fonction de protection (soit 76'000 ha). A ce propos, C. WERLEN (2000) précise dans une conférence de presse qu'il est essentiel de favoriser le rajeunissement de la forêt et de renforcer la stabilité des peuplements, pour qu'elle puisse conserver cette fonction protectrice.

Les **ouvrages de défense permanents en zone de décrochement** les plus fréquents en Valais sont les claies métalliques (leur superstructure a peu changé depuis le début du XXe siècle, mais leur méthode d'ancrage a par contre passablement évolué) et les filets en acier. Ces derniers sont un type d'ouvrage souple (piliers articulés) également efficace en cas de chutes de pierres. La hauteur de ces deux types d'ouvrages est importante : elle doit être au minimum égale à la hauteur maximale de neige observée selon une période de retour de 100 ans<sup>27</sup>. Leur structure doit quant à elle supporter les pressions de neige maximales. Des directives ont été éditées pour réglementer ces constructions et conseiller leur mise en place. Mentionnons encore les ouvrages à vent (barrière et vire-vent) qui empêchent la formation de congères ou d'une importante quantité de neige au sommet d'un couloir en modifiant le déplacement de la neige. Les râteliers métalliques et les ouvrages en béton sont de moins en moins utilisés et la

---

<sup>27</sup> Les hauteurs typiques en Suisse sont comprises entre 3 et 4 mètres (MARGRETH 1996).

réalisation de murs en pierre très rare, leurs coûts de construction et d'entretien étant disproportionnés par rapport à leur efficacité (WUILLOUD (c) : 24-25).

Une fois en plein développement, l'avalanche ne peut être arrêtée par les ouvrages de protection : les constructions réalisées dans les zones d'écoulement vont par conséquent servir à dévier et freiner les avalanches et dans les zones d'arrêt, à récupérer les masses de neige (MARGRETH 1996). Les digues de déviation modifient le cours de l'avalanche et empêchent son étalement dans une certaine direction ; généralement en terre (en pierre ou métal dans les pentes fortement inclinées), leur efficacité est directement dépendante de leur hauteur, de l'inclinaison du terrain et de l'angle de déviation. Les cônes freineurs, adaptés pour des longues pentes de déclivité faible, diminuent l'énergie de l'avalanche en divisant la masse de neige en plusieurs bras. Les galeries servent quant à elles à la protection de voies de communication : ces ouvrages sont chers mais procurent une protection totale, pour autant qu'ils couvrent la largeur maximale de l'avalanche. Une moyenne de 512 mètres de galeries est construite par année par le Service cantonal des ponts et chaussées. Finalement, les digues d'arrêt : ces ouvrages de retenue ne peuvent être construits que dans les zones où la déclivité est inférieure à 12° et où les avalanches ralentissent (WUILLOUD (c) : 26-27). Leur efficacité est à nouveau dépendante de leur dimension relativement à l'accumulation totale de neige. Pour montrer les limites de ce type de protection, mentionnons le cas de la digue de Geschinen en 1999, qui, remplie par une première avalanche, n'était plus fonctionnelle et n'a ainsi pas pu empêcher la destruction d'une maison, pourtant située en zone blanche.

Ainsi, malgré une augmentation des mesures de protection et de prévention, les avalanches ont toujours d'importantes conséquences et met en évidence les limites de la sécurité : événements imprévisibles, évaluation du danger difficile, ouvrages sous-dimensionnés, etc. De plus, les coûts de ces projets de d'ouvrages de défense étant élevés, une protection maximale partout ne peut être mise en place. Ces projets sont ainsi évalués par le gestionnaire des dangers naturels selon l'importance de leur objectif de protection, et vont par conséquent être principalement construits pour protéger des zones d'habitat. Un ordre de priorité leur sera donné.

#### **7.2.4 Mesures de prévention - protection passive et active, court terme**

Dans cette catégorie, on distingue deux aspects : les mesures de prévision et d'urgence. Elles ont le même objectif : une gestion des situations de crise. Toutes ces actions ont une portée à court terme, et permettent de diminuer la catastrophe et ses conséquences. Leur objectif est ainsi l'élimination du risque résiduel après la mise en place de mesures de planification et de protection à long terme. Elles demandent la mise en place d'une importante organisation, afin de faire face aux situations d'urgence en cas de danger d'avalanches.

##### **Mesures de prévision**

Plusieurs organismes sont chargés de la prévision et des systèmes d'alerte en Suisse : notons premièrement l'IFENA à Davos dont l'une des tâches principales

est la prévision des avalanches au niveau national. Cet institut transmet un maximum d'informations sur la situation de danger quotidienne, comme, par exemple, le bulletin national de prévision d'avalanches. Diffusé tous les soirs, mais aussi le matin en cas de situations critiques, il expose les conditions météorologiques et d'enneigement, le degré de danger par région et par altitude ainsi que les mesures à prendre. Notons également des produits tels que cartes de situation du manteau neigeux et de hauteur de neige, respectivement de neige fraîche. L'ensemble de ces informations est accessible à tous les intéressés (par téléphone, fax, internet, etc.). Elles se basent sur des observations faites in situ, grâce à un réseau de 14 stations nivo-météorologiques cantonales, 24 stations nivoses et 18 stations météo.

A mentionner également la collaboration avec ISM MétéoSuisse, qui a par exemple permis de donner des préavis de chutes de neige abondantes aux services de sécurité pendant l'hiver 1998-99. Ces derniers reçoivent également toutes les informations provenant des stations automatiques d'altitude (situées à 2500 m.) et des 80 observateurs répartis dans toute la Suisse grâce au programme InfoBox (DUFOR 1999 : 32). Notons les nombreuses recherches et progrès réalisés à l'IFENA en ce qui concerne les modèles de simulation et de prévision des avalanches, qui visent la mise en place d'un système d'alerte intercantonal.

### Mesures d'urgence

Elles sont de deux types : notons,

- **des mesures de protection active** : notons surtout le déclenchement artificiel des avalanches, qui permet la mise en mouvement des masses de neige à un moment choisi. Celui-ci peut se faire par minage (à main, par hélicoptère) ou alors grâce à un système de déclenchement artificiel automatique (Gasex). Le minage de pierres et rochers instables commence aussi à être effectué ;
- **des mesures de protection passive**, telles que l'évacuation des personnes situées en zones de danger et la fermeture de routes menacées. La prise de ces mesures se base sur plusieurs types d'information, fournis par toute une organisation, que nous présentons dans ce qui suit.

En ce qui concerne les aspects organisationnels de la gestion de crise, mentionnons la **Commission Cantonale Dangers Avalanches (CCDA)**, créée en 1988. C'est un groupe de travail composé de représentants de divers services de l'Etat et des services de sécurité locaux. Il collabore ainsi avec le service de l'entretien des routes, les communes, les remontées mécaniques et des institutions privées. Son objectif est de centraliser les informations, d'organiser la coordination des organisations, offrir des conseils pour la mise en oeuvre des mesures de protection et de créer des **services de sécurités** décentralisés. Le Valais, comme toute région alpine, est en effet caractérisé par des grandes disparités climatiques ; il nécessite ainsi des observations effectuées à une échelle locale. L'IFENA avait déjà subdivisé le Valais en cinq secteurs aux conditions plus ou moins semblables (Nord et Sud du Valais, les vallées de Saas et Zermatt, le Simplon et la vallée de Conches), mais la CCDA a encore affiné cette régionalisation en définissant 17 secteurs, avec chacun un service de sécurité

local. Tous ces services et leur soixantaine d'observateurs sont toujours en contact avec la CCDA, qui est l'organisme centralisateur. De nouveaux secteurs ont été ajoutés à la suite de l'hiver 1999, qui sont actuellement au nombre de 22 (WUILLOUD 2000 : 6-7). Une évaluation adaptée des conditions locales est ainsi possible.

Toutes les informations récoltées sont ainsi discutées et transmises par la suite suivant la situation de risque : aux responsables des routes, à la police cantonale, aux communes et aux diverses organisations de secours et d'information. Mentionnons la **cellule de secours pour le cas de catastrophe (CECA) de l'état-major civil de conduite (EMCC)**. C'est un groupe permanent chargé des tâches de prévention (alerte), de planification et de mise en place des mesures d'urgence. Il est dirigé par le commandant de la police cantonale et comprend les responsables des services concernés (Service des routes et cours d'eau, de la protection de l'environnement, de l'information, de la CCDA, etc.). Les état-majors de districts et communaux (ou intercommunaux) assurent la préparation et la conduite des mesures. Quant à l'information publique, elle est prise en charge par le Conseil d'Etat, le préfet et le conseil municipal aux niveaux cantonal, du district et communal. Notons finalement que l'ensemble des organisations peut être engagé en cas de besoins, comprenant notamment la police, les sapeurs-pompiers, la protection civile, etc. Tous ces aspects sont précisés dans une loi et un règlement d'exécution.<sup>28</sup>

### 7.3 Evaluation de la gestion actuelle des dangers d'avalanches en Valais

Cette partie sur la gestion des avalanches en Valais nous a permis de mettre en évidence ses aspects essentiels et les liens existants entre la Confédération, le Canton et les communes. On constate le rôle primordial joué par l'Etat en ce qui concerne la mise en place non seulement des mesures visant une protection contre les dangers d'avalanches, mais également de celles chargées d'une gestion des situations d'urgence. Le mode de gestion en vigueur actuellement a néanmoins réussi à combiner **une gestion locale et étatique des dangers**. Il comporte les avantages d'une prise en main par l'Etat, qui réglemente, homogénéise, donne les moyens (financiers, organisationnels) pour entreprendre les mesures nécessaires et améliore la prise en compte des dangers en centralisant les informations. Ceci en éliminant les désavantages d'une gestion par un acteur externe au milieu : les communes sont responsabilisées et chargées de la prise des mesures. On peut ainsi dire qu'elle s'inscrit ainsi dans l'évolution constatée par DOURLENS et al (1991 : 35-36) vers un « **système ouvert et unitaire** »<sup>29</sup>.

<sup>28</sup> Pour plus de précisions, se référer à la *Loi du 2 octobre 1991 sur l'organisation en cas de catastrophes et de situations extraordinaires*, RS 501.1, et au *Règlement d'exécution de la Loi sur l'organisation en cas de catastrophes et de situations extraordinaires* du 4 novembre 1992, RS 501.100, un extrait de ces lois en annexe 7 présente les articles essentiels.

<sup>29</sup> A ce sujet, se référer au chapitre 4.2.6 de cette étude.



La mise en place de cette gestion, et principalement l'intensification des mesures de planification et de protection, ont permis de limiter considérablement l'accroissement du risque qui aurait été inévitablement induit par l'utilisation croissante des milieux alpins. En effet, KUNZ (1998a : 119) énonce que le potentiel de dommages dus aux avalanches est resté constant depuis les années 1950. On constate aussi que le nombre de décès dans les zones d'habitat est resté relativement faible au cours de l'hiver catastrophique de 1998-99.

Cette année exceptionnelle du point de vue des conditions avalancheuses a permis d'évaluer le fonctionnement et l'efficacité de la gestion actuelle des dangers d'avalanches du Valais, laquelle s'est avérée bonne de manière générale. Parmi les points positifs, on peut mentionner le rôle important joué par les mesures de protection passives et actives, qui ont fortement contribué à réduire l'ampleur de la catastrophe : les cartes de danger étaient précises, la forêt de protection a rempli sa fonction (il n'y a eu aucun déclenchement d'avalanches en dessous de la limite de forêt), et les ouvrages ont été de manière générale efficace, à part quelques problèmes dus à une quantité de neige trop abondante pour certains d'entre eux (WUILLOUD 1999a : 46). A noter également, le professionnalisme des mesures d'organisation : les services de sécurité ont été efficaces et ont permis de diminuer considérablement le risque résiduel.

Des remarques concernant l'évolution souhaitée de cette gestion ont été émises par divers spécialistes, notamment F. DUFOUR (1999 : 35-36) et C. WUILLOUD (1999a : 46). Selon eux, en ce qui concerne les **mesures de planification**, ils exposent le besoin d'une adaptation locale de certaines cartes et la nécessité de poursuivre la recherche scientifique dans le domaine de la dynamique des avalanches. La réalisation de **mesures de protection** doit continuer, voire même augmenter et il serait nécessaire de développer des concepts d'entretien, certains ouvrages arrivant gentiment en fin de « vie » ; notons également que les ouvrages techniques ont subi des dégâts pour un montant avoisinant les 1'200'000 francs au cours de cet hiver en Valais (SLF 2000 : 247). Il va de soi que l'entretien des forêts est également indispensable. L'objectif de protection devrait être défini plus précisément, afin d'améliorer l'évaluation des projets. Notons une amélioration conseillée des systèmes de déclenchement artificiel, dont l'effet n'est pas toujours conforme aux attentes. Finalement, en ce qui concerne la **prévention**, il faudrait améliorer les bases de décisions en ce qui concerne les mesures préventives et la transmission des informations aux responsables locaux, afin qu'ils soient plus en mesure de prendre les décisions. Cette remarque témoigne de la complexité d'une telle gestion, composée de nombreux acteurs : il est difficile d'établir un lien entre les divers responsables de la prévention et de l'urgence. C. WUILLOUD termine en mentionnant la nécessité de réduire les « lourdeurs administratives » et de permettre aux services de sécurité de prendre en compte l'ensemble des dangers naturels.

De nombreuses améliorations sont donc souhaitées par les divers spécialistes : nous présenterons dans le chapitre suivant les apports du SIRS Avalanches quant à cette gestion des dangers d'avalanches et verrons ainsi en quoi il permet d'offrir une solution aux améliorations souhaitées et mentionnées ci-dessus. Cette partie nous permettra également de préciser le contexte dans lequel s'insère notre application pratique sur un SIRS concernant les ouvrages de protection.

## 8 Le SIRS Avalanches

### 8.1 Introduction : historique et objectifs

La mise en place d'un SIRS a été décidée pour gérer les données du **cadastre des avalanches** et de l'**inventaire des ouvrages** et améliorer leur exploitation. Ce cadastre réalisé en 1989-1990, a été entrepris sur décision de l'Etat du Valais : il répertorie les avalanches calculées et potentielles sur des cartes au 1 : 25'000 avec leurs caractéristiques, notées sur une fiche spécifique. Leur périmètre a été délimité à l'aide d'études provenant de sources différentes : les cartes des avalanches calculées par l'IFENA, celles réalisées par des inspecteurs des forêts et du paysage et par divers bureaux d'ingénieurs forestiers (généralement dans le cadre d'études sur des projets de défense) et grâce à divers documents disponibles au sein des communes (photographies, rapports). Les « fiches avalanche » donnent quant à elles une série d'indications sur leur localisation, la description des zones de décrochement, d'écoulement et d'arrêt, sur le type de neige, la chronique des dégâts, les zones de conflits, les ouvrages réalisés et les mesures proposées à l'avenir. Cette importante quantité de données (2903 avalanches avaient été répertoriées), premièrement sous forme « papier » a ensuite été reportée sur des fiches Word et finalement intégrée dans une première base de données (DBase). Elles restaient néanmoins inexploitable et leur mise à jour n'était que difficilement possible. Leur utilisation s'en voyait fortement restreinte, alors que ce cadastre avait justement été réalisé dans le but de pouvoir évaluer l'impact des avalanches sur la gestion du territoire. Quant aux données de l'inventaire des ouvrages, elles se trouvaient sous forme de fiches Excel, regroupées par communes en « classeurs » (un exemple de ces fiches est présenté en annexe 1). Une extraction précise de ces données n'était pas non plus possible.

La décision de mise en œuvre du SIRS Avalanches se place par conséquent à la suite d'une série de tentatives réalisées pour trouver un mode de gestion efficace. Son **objectif** est ainsi de permettre une **gestion intégrée** non seulement de ces données spatiales et attributaires relatives au cadastre des avalanches, mais également des cartes de dangers d'avalanches du canton du Valais. Ces dernières étaient jusqu'alors modifiées manuellement : il était difficile de procéder à des modifications coordonnées sur les quelques exemplaires de cartes originales et ainsi de garantir leur validité. Ces cartes sont en effet distribuées entre différents services, notamment aux services de l'Aménagement du territoire et des Routes et cours d'eau de même qu'aux communes. On voit ainsi l'importance d'un support informatique pour maintenir ce document important à jour et permettre une meilleure diffusion des limites de zones de danger. Ce SIRS a également comme finalité de rendre possible le recouvrement des zones d'activité humaine et des zones de dangers d'avalanche afin de pouvoir cerner les conflits et ainsi faciliter les tâches relatives à l'aménagement du territoire et à la réalisation de mesures de protection. Il devrait par la suite offrir une gestion en temps réel des divers projets de réalisations et permettre d'obtenir rapidement la situation de

danger des bâtiments faisant l'objet de demande de construction. Ces divers traitements vont permettre de faciliter les tâches de gestion du territoire et la collaboration entre les services.

Une première étude pilote a été effectuée afin de mettre en évidence les apports qu'un tel SIRS pouvait apporter. Les réflexions ont ensuite été affinées : un modèle de structure des données a été établi, puis une maquette réalisée sous Access et ArcView pour un ensemble de communes valaisannes (principalement situées en Haut Valais). La validation de cette application a nécessité d'importants traitements, surtout lors du transfert des données. Convaincu de ce projet, le Service des forêts et du paysage du canton du Valais a concrètement lancé sa mise en œuvre en 1998 en mandant divers bureaux afin de reporter les données du cadastre des avalanches et des cartes de dangers d'avalanches dans le SIRS. L'étape de modélisation a été effectuée, ainsi qu'une partie de l'acquisition des données. Nous préciserons l'état actuel de conception du SIRS Avalanches au cours des chapitres suivants, qui nous permettront également d'exposer les aspects relatifs à la structure non seulement du système mais également des données.

## 8.2 Architecture du SIRS Avalanches

Le SIRS Avalanches a été conçu selon une architecture hybride : ses données spatiales et thématiques sont gérées de manière indépendante, dans deux logiciels extérieurs au système utilisé pour la consultation et la mise à disposition de ces informations. C'est une architecture qui permettra une bonne intégration au sein du projet SIRS DANA. Des logiciels spécialisés seront utilisés pour les fonctions de saisie (outils de dessin assisté par ordinateur, soit Autocad, géopoint et Spans) et de gestion des données graphiques (logiciel SIRS ArcInfo). L'ensemble des données attributaires sont quant à elles intégrées dans une base de données relationnelle, soit Access, et seront ainsi aisément récupérables. Un tel système permet une grande souplesse d'accès à l'information contenue dans la base : par formulaires, tables, et grâce à des multiples possibilités de requêtes. Un SGBDR offre également une infinité de possibilités en ce qui concerne les produits de synthèse pouvant être extraits : fiches descriptives, statistiques, informations synthétiques créées par analyse croisée. Le bilinguisme du canton du Valais est également pris en compte, la base fonctionnant en mode bilingue. Un SGBDR permet une saisie et mise à jour relativement rapide et contrôlée des données grâce à des menus déroulants (qui évitent des fautes d'acquisition) et à la possibilité de désigner des champs obligatoires, des modes de saisie prédéfinis, les domaines des divers attributs, etc.

C'est un logiciel SIRS de bureau, convivial et relativement simple (ArcView) qui est utilisé pour établir la connexion entre les tables contenant les informations administratives et les diverses entités géographiques. La liaison entre ces deux catégories de données se fait au moyen d'identificateurs communs et de requêtes : les tables ArcView sont construites grâce à une connexion SQL (Structured Query Language) sur des requêtes Access. Il sera ainsi possible d'exploiter ces informations et de les extraire selon des critères précis. La gestion

des données attributaires dans un SGBDR a l'avantage de pallier les possibilités restreintes de prise en compte d'importants volumes de données par des logiciels SIRS de bureau. La figure suivante montre clairement cette organisation générale des données, réparties en deux systèmes principaux :

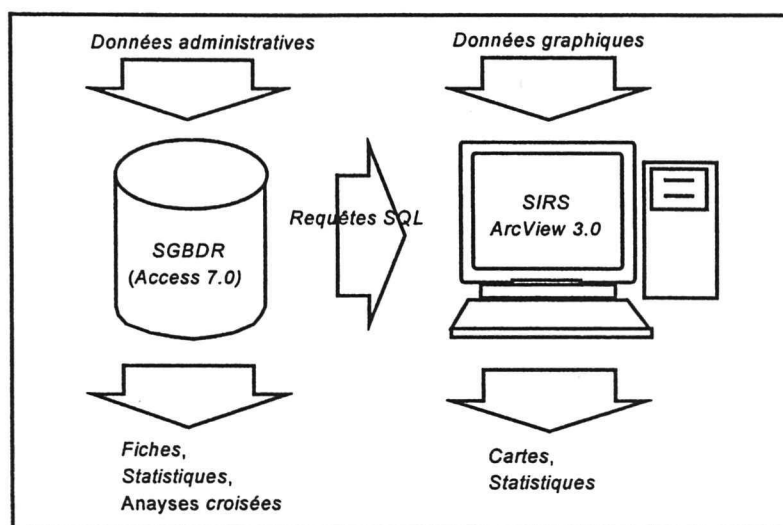


Fig. 5 : Structure du SIRS Avalanches : organisation des données et produits (tiré de CERRUTTI 1997 : 5).

Comme nous l'avons précisé au cours de la cinquième partie de ce mémoire, le type de logiciel opté pour l'utilisateur va conditionner les traitements et le type de décision qui vont pouvoir être effectués. De prime abord, on peut dire qu'ArcView s'adapte relativement bien aux besoins des gestionnaires du territoire car il permet une édition vectorielle des données spatiales et ainsi identifie les diverses entités géographiques. De tels logiciels bureautiques n'offrent pas la possibilité de réaliser des fonctions d'analyse spatiale poussées, mais leurs fonctions d'analyse thématique sont bonnes et ils constituent tout de même des outils d'aide à la décision (RIEDO 1999 : 34). Ils ont de plus l'avantage d'être accessibles par un plus grand nombre d'utilisateurs, ceux-ci ne nécessitant pas d'être des spécialistes. Ces raisons expliquent le choix du logiciel Arcview et non ArcInfo. Notons également que c'était le logiciel déjà adopté par plusieurs services de l'Etat du Valais. Après cette exposition de l'aspect technique du SIRS Avalanches, il est nécessaire de préciser son contenu, en exposant les aspects relatifs à la modélisation des données graphiques et attributaires, ainsi que les traitements qu'il permettra de réaliser.

### 8.3 Modèle de données graphiques : présentation, origine et structure de l'information

Les données spatiales intégrées au SIRS Avalanches sont principalement de type vectoriel, la délimitation de la géométrie des éléments étant essentielle pour pouvoir apprécier le danger précisément. A mentionner en premier lieu les deux entités de base : le **périmètre général des avalanches** et le **périmètre des zones de danger** défini selon les cartes de danger en trois zones, rouge, bleue et jaune, propres à chaque numéro d'avalanche. Ce sont des entités de type surfacique qui possèdent toutes un identificateur permettant ainsi de faire le lien avec la base de données attributaires des avalanches. Ces données ont été digitalisées à partir de cartes papier au 1/25'000 en ce qui concerne le cadastre et au 1/10'000 pour les cartes de danger. Des règles d'acquisition des données ont été établies en collaboration avec le centre de recherche CREALP (chargé de l'étude du projet SIRS DANA) afin de pouvoir intégrer correctement le SIRS Avalanches au sein du SIRS global sur les dangers naturels. La première directive établie en 1998 a ainsi été complétée et a permis de préciser la structure des fichiers de digitalisation.

Il a été convenu de digitaliser chaque **couloir d'avalanche** séparément, et non en « zones » telles qu'elles étaient regroupées précédemment (sur les cartes de danger et sur la première version digitalisée du cadastre des avalanches). Ce travail supplémentaire de localisation a ainsi permis d'offrir une information plus précise et nécessaire pour une bonne prise en compte des dangers. Ces données se présentent sous forme de polygone pour ce qui est des avalanches calculées et sous forme de flèche pour les couloirs potentiels. Ces deux types d'entités ne pouvaient en effet être représentées de la même, de par leur niveau de précision différent. Chaque couloir comporte un attribut sous forme de numéro unique (« No\_avalanc ») qui servira de clé de jointure avec la base Access. Quelques informations sont incluses dans la base de données spatiales, telles que l'aire et le périmètre ainsi que la précision de la nature de l'avalanche (calculée/potentielle). Comme présenté au cours de l'énumération des étapes de conception d'un SIRS, l'acquisition des informations demande pratiquement toujours des traitements supplémentaires, et le SIRS Avalanches n'y a pas échappé : le bureau mandaté pour le suivi de ce projet a constaté de nombreuses erreurs de digitalisation lors du contrôle des fichiers de ces données spatiales (cohérence des polygones imparfaite, problèmes d'accrochage de polygones et de subdivisions de couloirs, etc.). Les données ont ainsi nécessité de nombreux traitements successifs et n'ont été livrées que tout récemment.

La digitalisation des **cartes de danger** est également précise. En effet, un périmètre créé par le chevauchement entre deux avalanches sera considéré comme une zone à part entière pour chaque couloir : cette même surface comportera deux identifiants et deux centroïdes précisant le degré de danger. Les cartes de danger présentent ainsi un niveau par avalanche : chaque zone de danger de chaque couloir se voit ainsi attribué un identificateur. Cette méthode de saisie stricte permet de ne pas négliger l'influence d'un deuxième couloir : ceci



est primordial pour les cas où une zone protégée d'une avalanche par un ouvrage reste menacée par une deuxième avalanche. Ces données ont aussi nécessité des traitements supplémentaires, principalement pour des questions de réorganisation de la structure des fichiers, afin de permettre le regroupement des divers polygones composant chaque avalanche.

D'autres couches d'informations spatiales seront ajoutées afin de permettre un lien avec les questions relatives à l'aménagement du territoire : les **périmètres des communes** et des **zones à bâtir** permettront de localiser les avalanches et d'identifier les conflits selon le type de zone. La mise en évidence des endroits à privilégier pour la réalisation de mesures de prévention ou de protection sera possible. La digitalisation des zones à bâtir est actuellement en cours de numérisation au service de l'aménagement du territoire du Valais. Cette information spatiale se présente sous forme de surfaces fermées qui ne se chevauchent pas, chaque région comportant un identifiant pour l'intégration d'éventuels attributs. Les cartes au 1/10'000 et au 1/25'000 pourront aussi être introduites comme couche d'information de type image, pour faciliter la localisation des entités étudiées.

Il est également envisagé de compléter cette base de données spatiales avec la digitalisation des **périmètres des divers événements**, qui seront directement liés à leur description thématique grâce à un identificateur commun. Une acquisition de cette couche d'information paraît néanmoins difficile, vu le nombre d'événements survenant chaque année. Elle ne semble en effet possible qu'à la condition que les divers responsables des avalanches des communes puissent intégrer ces périmètres directement dans la base. Cette saisie devrait se limiter aux événements dépassant les limites des avalanches précédentes, afin de ne pas déborder d'informations redondantes. Une représentation spatiale des **ouvrages de protection** n'a jamais été prévue, si ce n'est sous forme d'objet ponctuel. GREPPIN (2000 : 8) propose par contre d'ajouter le périmètre du **projet d'étude** ou de construction, qui « correspond à la surface étudiée par les spécialistes [et qui, selon lui,] permet de distinguer les portions de territoire où le danger est nul, des zones où il est indéterminé. » Nous n'allons pas développer cette question des informations spatiales liées aux projets de protection à ce point du travail, mais reprendrons cet aspect par la suite.

## 8.4 Modèle de données attributaires

### 8.4.1 Présentation et origine des données

L'information attributaire qui compose le SIRS Avalanches se présente en trois volets importants :

- des **données thématiques sur les avalanches** : elles proviennent du cadastre et étaient jusqu'alors stockées sous forme de « fiches ». Elles donnent une description générale de l'avalanche, de ses diverses zones, des conflits engendrés de même que des références aux diverses études effectuées.

- une **description générale des événements** : la date, le genre de coulée, l'extension de la zone de déclenchement et de dépôt (avec des indications géométriques ou coordonnées géographiques), la météo et la description des dégâts occasionnés. Ces informations se limitent néanmoins à la description de quelques 300 événements.
- une **description des réalisations** relatives aux mesures de protection actives. Ce volet intègre les données administratives de l'inventaire des ouvrages réalisé dans les années 1990 et qui comporte toute une série d'informations sur les divers projets réalisés depuis les années 1950 (coût, type, etc.) et sur les objets du territoire concernés par le projet en question. Nous reviendrons sur cette partie « réalisations » dans le cadre de la neuvième partie de ce travail. Précisons afin d'éviter toute confusion que le terme « réalisations » est utilisé comme synonyme de « projet » dans le SIRS Avalanches.

Nous avons intégré en annexe un exemple des fiches descriptives pouvant être extraites de la base : elles présentent ainsi l'intégralité de l'information disponible relativement aux avalanches, événements et réalisations (annexe 2)<sup>30</sup>. Les données sur les avalanches et les événements proviennent de la première saisie effectuée avec le logiciel DBase, quant aux données sur les ouvrages, elles sont de format Excel. Elles ont ainsi toutes nécessité une importante restructuration afin d'être intégrées dans la structure actuelle sous Access.

#### 8.4.2 Structure des données : présentation du modèle relationnel

La structure du modèle logique de données a été réalisée dans le cadre du projet pilote et a été adoptée telle quelle pour l'acquisition des données sur les avalanches et les événements. Nous commencerons par présenter ce modèle tel qu'il a été conçu, avant d'exposer les divers problèmes constatés au cours de notre étude. On retrouve clairement les trois entités principales dans la structure du modèle de données attributaires : la partie **Avalanches** qui constitue le noyau central du modèle fait le lien entre les relations **Événements** et **Réalisations** grâce à un identifiant unique (numéro, nommé ID\_avalanche) donné à chaque couloir. Il n'y a donc pas de lien direct entre les réalisations et les événements, ce qui est d'ailleurs logique, vu que les ouvrages sont rattachés aux divers couloirs d'avalanche et non aux diverses occurrences du phénomène. Comme nous l'avons vu dans la partie théorique sur les bases de données relationnelles, les informations sont structurées sous forme de relations (ou tables). La figure suivante (fig. 6) met en évidence ces trois relations principales, reliées à d'autres tables apportant des informations complémentaires. Elle présente également le modèle logique de manière simplifiée (version intégrale située en annexe 3).

La relation « **Avalanches** » comporte les informations permettant de se référer sans confusion à chaque avalanche : numéro de l'avalanche et de la commune, nom, coordonnées, type (couloir ou versant). Sa clé primaire est l'identifiant

<sup>30</sup> A préciser que les fiches présentées proviennent de la base de données Access originelle, les modifications amenées au cours de cette étude n'ayant pas encore été toutes intégrées à la structure de la base.

donné aux couloirs qui permet non seulement de faire le lien avec les deux autres volets, mais également avec les relations concernant les avalanches, notamment les tables :

- « **Etudes** » : indications sur les cartes de danger, calculs d'avalanches, plans de zones, rapports, et autres études réalisées ;
- « **Conflits** » : type et quantité des zones de conflits : surface bâtie, voies de communication, forêts, zones agricoles, etc. ;
- « **Zones** » : elle donne les caractéristiques des différentes parties de l'avalanche (décrochement, écoulement, arrêt) : altitude, exposition, vent dominant, forme (concave, convexe, plan, glissement) ;
- « **Communes** » : elle comprend les indications sur le nom, le district et l'arrondissement des communes concernées par des avalanches. Le lien entre ces deux tables est effectué au moyen du numéro de commune, présent dans la relation Avalanches. Ce numéro constitue ainsi un « identifiant externe » ou « clé étrangère ». Notons qu'une telle relation ne rend pas possible le cas d'une avalanche concernant plusieurs communes, ce qui en réalité est tout à fait plausible. Une telle information n'a pas été intégrée par souci de simplification, afin de ne pas rendre le modèle trop complexe.

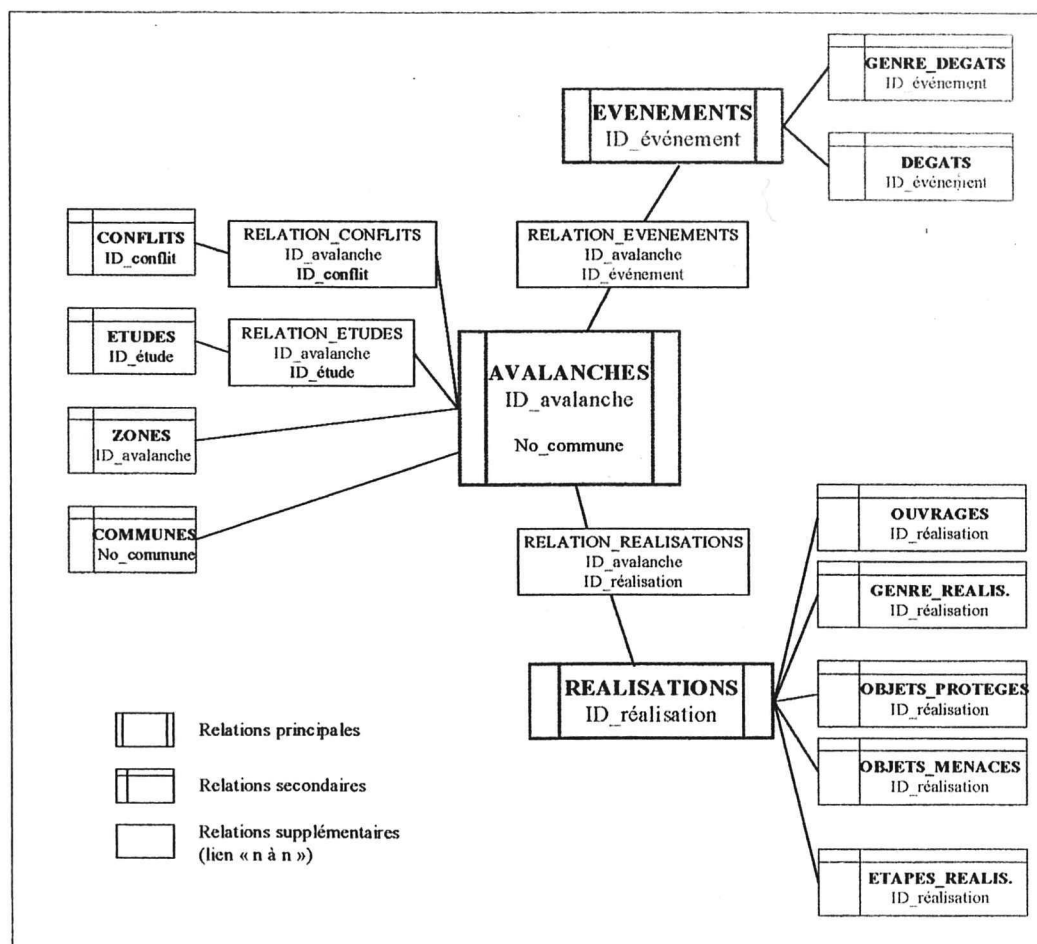


Fig. 6 : Structure simplifiée du modèle logique du SIRS Avalanches : relations et clés.

La relation **Evénements** est relativement simple : elle donne les informations principales de chaque occurrence du phénomène (date, source de l'information, exposition, dimensions, etc.). Elle est ensuite reliée à d'autres tables décrivant les dégâts occasionnés (leur nombre et le type), le type de météo (temps dégagé, couvert, avec chute de neige, pluie ou grêle) et de trajectoire (couloir, plan, forêt). Elle comporte, tout comme la relation **Réalisations**, un identifiant unique, **ID\_événement**, qui permet de faire le lien avec la relation **Avalanches**.

La relation **Réalisations** comporte toutes les informations sur les ouvrages de protection. La table principale comprend les données de référence administrative, soit le numéro du projet, sa date et l'année (les dates précises ayant été saisies dans une multitude de formats différents, elles sont inutilisables), le nombre d'hectares concernés, une information sur son état (en cours ou non), sur les aspects financiers, ses coordonnées et type d'exposition, ainsi que l'indication si une carte des dangers et un calcul de l'avalanche ont été réalisés. Cette grande relation fait ensuite référence, par l'identifiant du projet (**ID\_réalisation**), à deux tables importantes et trois d'importance secondaire, notamment les relations :

- « **Objets\_protégés** » : elle énumère les objets du territoire menacés par les avalanches et concernés par les réalisations : elle donne une indication sur le nombre et le type de bâtiments selon leur emplacement en zone rouge ou bleue ainsi que sur le nombre de mètres de voies de communication, respectivement d'hectares de forêt et zones agricoles ;
- « **Ouvrages** » : elle décrit le type général de réalisations effectuées (claires, bermes, digues, etc.) et détaillé (marque du fabricant), ainsi que la quantité et les dimensions des ouvrages. Des données sont également intégrées sur l'état de l'ouvrage et l'aspect « assainissement ». Ces dernières informations ne sont néanmoins pas tenues à jour car elles sont rarement disponibles, l'entretien des ouvrages étant principalement effectué directement par les communes : il a par conséquent été décidé que l'intégration de ces données serait abandonnée dans le futur.
- « **Genre\_réalisations** » et « **Objets\_menacés** » : elles offrent une information de synthèse. La première indique le type général de projet (défense contre les avalanches, reboisement, chute de pierre, glissement de terrain ou torrent) et la deuxième l'objectif de protection (bâtiments, transports/énergie, ou zones agricoles/forêts). Ce sont des informations en un sens redondantes, mais qui permettent de donner une idée générale simplifiée.
- « **Etapes\_réalisation** » : elle comprend les dates des différentes étapes de construction, mais sera à l'avenir abandonnée, cette information n'étant plus considérée comme essentielle.

Il est important de rappeler que les modèles relationnels ne peuvent pas contenir d'attributs complexes (composés de plusieurs informations) ou multivalués (qui peuvent comporter plusieurs occurrences pour une même entité). De tels cas doivent être éliminés par la création de tables supplémentaires. A titre d'exemple, considérons les deux relations « **Evénements** » et « **Réalisations** » : leur lien avec la table « **Avalanches** » est de type « **plusieurs à plusieurs** ». En

effet, une avalanche se caractérise par une série d'événements et peut comporter plusieurs réalisations ; de même, un événement et un projet d'ouvrage peuvent concerner plusieurs couloirs. Leurs attributs sont ainsi généralement multivalués et doivent par conséquent être stockés séparément. Pour lier ces tables qui peuvent toutes faire référence à plusieurs tuples d'une autre table, une deuxième relation supplémentaire doit être ajoutée. Ainsi s'expliquent toutes les « *Relations\_...* » du schéma logique, qui ne comprennent comme attributs que les identifiants des deux tables concernées. Lorsque les liens sont de type « **un à plusieurs** », une table est également ajoutée. La relation « *Ouvrages* » témoigne d'un tel cas : un projet peut amener la construction de plusieurs ouvrages ; par contre, un ouvrage ne peut être réalisé que dans le cadre d'un projet. Comme c'est un lien de « **un à plusieurs** », une deuxième relation supplémentaire n'a pas été nécessaire.

Les tables nommées « *Type\_...* » qui apparaissent dans le schéma intégral (annexe 3) nécessitent également d'être clarifiées. Elles servent à donner la signification sous forme de texte des codes numériques utilisés pour décrire les divers types de conflits, d'études, de zones, d'ouvrages, etc. Elles ne sont pas obligatoires du point de vue de la structure de la base de données mais se révèlent néanmoins utiles pratiquement, pour les questions relatives à la maintenance de la base. En effet, en cas de changement de nomenclature ou d'un ajout nécessaire d'un type, il suffira de modifier ces tables « *Type\_...* » pour rectifier l'ensemble de la base.

A noter finalement que le modèle relationnel ne permet pas de définir précisément les liens entre les tables : il est par exemple impossible de préciser qu'une avalanche est obligatoirement caractérisée par trois zones différentes (décrochement, écoulement et arrêt) en notant un lien de « 1 à 3 ». De même, une réalisation peut ne pas concerner d'avalanches car des projets de défense contre les glissements et chutes de pierre sont également intégrés dans l'inventaire (« 0 à n »). On voit ainsi les limites d'un modèle simplifié.

## 8.5 Traitements

Un SIRS connecté à SGBDR offre toutes sortes de traitements et de nombreux avantages. Le SIRS Avalanches va ainsi permettre de représenter graphiquement les informations administratives contenues dans la base, sous forme de plages de couleurs ou de symboles, proportionnels ou non, de localiser le résultat de requêtes sur ces données thématiques et de produire de l'information par interrogation spatiale. Cette dernière fonctionnalité est celle qui permettra de mettre en relation les zones de danger (rouge et bleue) avec les surfaces de zones à bâtir, et ainsi de repérer rapidement les conflits. De multiples cartes vont pouvoir être créées : non seulement en variant le contenu et la forme de représentation, mais également par le fait que les SIRS ont l'avantage de permettre des représentations à différentes échelles. Notons finalement un avantage primordial du SIRS : il va faciliter les modifications des cartes de danger et surtout permettre, lorsque le système sera mis en place, un accès rapide et aisé à la carte homologuée la plus récente par tous les intéressés. Une fois



consultable via internet, les communes et les privés pourront également y accéder et visualiser directement la situation de danger, ce qui évitera de nombreuses procédures administratives lors de demandes de construction.

D'autres produits tels que des statistiques et diverses sortes de graphiques basés sur le contenu des tables pourront également être réalisés grâce aux possibilités de traitements du SGBDR : il permet une extraction des informations attributaires selon des critères précis, non seulement au sein de chacun de ces grands ensembles de données, mais également entre eux. Grâce à l'algèbre relationnelle, les différentes tables pourront être remaniées de multiples façons : sélection d'une partie des attributs ou des tuples, regroupement de tables différentes, extraction des différences entre deux d'entre elles. Il sera par exemple possible de ne sélectionner que les avalanches menaçant des bâtiments, et d'obtenir les réalisations qui leur sont liées. Un grand nombre de synthèses générales pourront également être produites à partir la base, telles que les coûts, ouvrages réalisés et dégâts occasionnés par commune et par année, etc. Les possibilités d'exploitation semblent de fait illimitées. Il sera de plus possible d'accéder à l'information de diverses manières : par le type d'entité (avalanches, événements, réalisations) ou par la région considérée (arrondissement, commune). Les avantages d'une SGBR du point de vue des traitements apparaissent ainsi clairement.

## **8.6 Conclusion intermédiaire : état de réalisation avant le mémoire**

Le SIRS Avalanches est le SIRS dangers le plus avancé du point de vue réalisation : lorsque sa conception sera terminée, il permettra ainsi au SIRS DANA de commencer à se concrétiser. Premièrement, par l'intégration du SIRS Avalanches dans la structure du projet global, puis par le développement de l'interface utilisateur du SIRS DANA selon les besoins du responsable des dangers et des inspecteurs d'arrondissement forestiers. Des directives seront ensuite édictées pour les questions de saisie et de mise à jour des données et une formation des utilisateurs est prévue pour tous les aspects de gestion et d'exploitation du système. L'ensemble du projet pourra ainsi se mettre en place progressivement et permettre, à terme, de prendre en compte la globalité des dangers dans les décisions relatives à l'aménagement du territoire et à la planification des mesures de protection et de prévention.

Le SIRS Avalanches est à l'heure actuelle pratiquement opérationnel. Il est néanmoins nécessaire de revenir en arrière et de préciser son état d'avancement au moment où nous avons commencé notre étude. Ce système n'était alors pas encore mis en place. Un prototype avait néanmoins été réalisé dans le but d'offrir un premier résultat aux futurs utilisateurs et de permettre une validation de la structure des données. Leur acquisition a ensuite commencé, et c'est là que se place notre étude. Les couches d'information spatiale sur les avalanches et les zones de danger avaient été digitalisées mais nécessitaient encore de nombreuses corrections ; quant aux données thématiques relatives au cadastre des avalanches et aux événements, elles étaient en voie d'être intégrées dans le SGBD. Celles

concernant les réalisations n'avaient par contre pas encore été traitées. Nous avons également vu qu'aucune information spatiale n'était vraiment prévue pour les ouvrages. C'est la raison pour laquelle nous avons décidé de nous consacrer à cette partie du SIRS Avalanches, qui est un volet important de la gestion des dangers d'avalanches. Nous avons donc décidé d'évaluer si la seule intégration des données sur les ouvrages dans un SGBDR suffisait pour répondre aux besoins du gestionnaire, ou s'il ne serait pas utile d'intégrer également ces données dans le SIRS sous forme de données spatiales. Ceci, comme le responsable des dangers naturels du canton du Valais en avait d'ailleurs émis le désir. Nous évaluerons ainsi la pertinence et la faisabilité d'un SIRS relatif aux réalisations dans le prochain volet de cette étude.

## 9 Pertinence d'un SIRS intégrant les données sur les ouvrages de protection

Cette partie de notre étude constitue l'application pratique à proprement parler. Nous allons y évaluer la pertinence d'un système d'information à référence spatiale appliqué aux ouvrages de défense contre les avalanches. Comme nous l'avons exprimé dans l'énoncé de la problématique, cette analyse a comme objectif la mise en place d'un « SIRS Réalisations » permettant de faciliter les tâches du responsable de ces projets. Ce système doit ainsi apporter une aide à la décision et à la gestion. Nous avons déjà exposé quelques aspects relatifs aux ouvrages de défense au cours de la partie précédente (historique, évolution des mesures et ouvrages actuels), mais il est toutefois nécessaire d'y ajouter quelques précisions, ce que nous ferons dans un premier chapitre. Le SIRS Réalisations ainsi bien contextualisé, nous pourrions passer à son évaluation.

### 9.1 Les ouvrages de défense en Valais

Le chapitre sur la gestion des dangers d'avalanches en Valais nous a permis de constater l'importance croissante des mesures de protection depuis le milieu du XXe siècle. Au vu de leur nombre, coût élevé et des restrictions budgétaires de la Confédération et des cantons, leur gestion en devient essentielle ; de plus, comme certains atteignent bientôt la fin de leur durée de vie, d'importants travaux d'entretien vont être nécessaires. La gestion de ces projets de défense est également indispensable pour permettre une évaluation du niveau de protection atteint et ainsi, de déterminer des zones de vulnérabilité. Dans le cadre de ce chapitre sur les ouvrages de défense, nous allons présenter deux aspects : non seulement, les diverses étapes de leur mise en place, du projet à la construction, mais également, la manière dont ils sont évalués. Bien que ces informations aient été récoltées au fur et à mesure de notre étude, nous les exposons néanmoins avant la partie sur le SIRS car elles précisent des aspects théoriques généraux essentiels pour la suite.

Une étude de projet est généralement initiée à la suite d'un événement ayant induit des dégâts, sur demande de la commune. Elle est réalisée par un bureau privé d'ingénieurs forestiers qui va commencer par observer la situation et la carte des dangers, puis récolter des informations sur l'avalanche et calculer le risque initial. Différentes variantes de protection vont être proposées et évaluées. Les caractéristiques topographiques sont considérées en premier lieu car elles déterminent le type d'ouvrage pouvant être adopté ainsi que son efficacité (OFEFP 1990 : 34-5). Les risques résiduels relatifs à l'influence des diverses variantes sont également calculés : les mesures de protection prévues devront réduire le risque à un seuil acceptable. Les aspects financiers sont ensuite considérés, soit les coûts des mesures prévues pour chaque variante. Une analyse de coûts-efficacité est généralement réalisée afin de déterminer la solution de protection optimale. Les facteurs écologiques sont également pris en compte dans

l'évaluation des diverses variantes. Avant de présenter un avant projet à l'Etat du Valais, les communes doivent s'assurer que toutes les questions de mise à l'enquête et d'oppositions sont réglées. C'est le responsable de la section des Dangers naturels qui sera ensuite chargé de l'évaluer. En cas d'approbation du projet, il sera présenté à la Confédération ; sa mise en œuvre pourra enfin débuter si l'octroi de subventions est accordé. La figure suivante présente ces étapes essentielles.

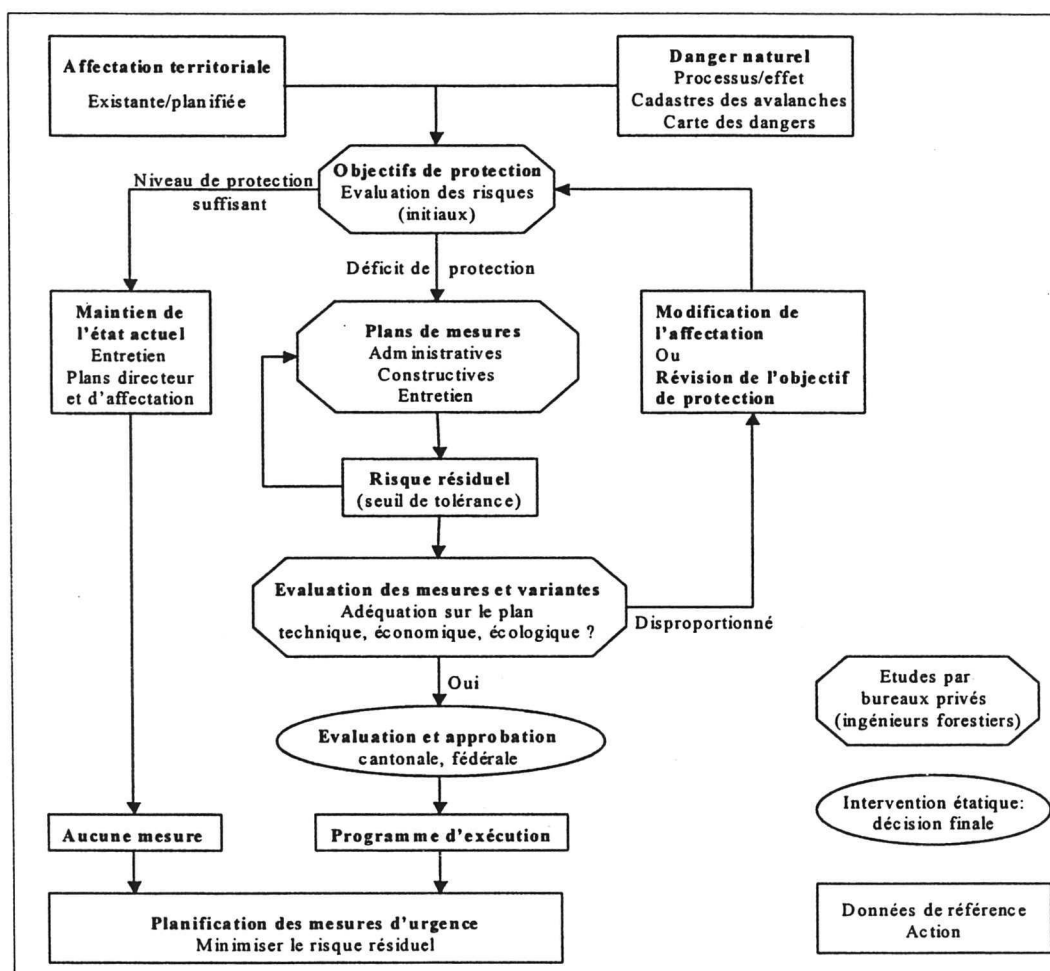


Fig. 7 : Etapes de mise en œuvre d'un projet de défense (inspirée de JORDAN 1999 : 80 et de OFOR, OPC, OACOT 1999 : 15).

Les méthodes utilisées par les ingénieurs forestiers pour l'évaluation des mesures de protection doivent être précisées car elles vont conditionner en un certain sens l'utilité du « SIRS Réalisations ». Ces méthodes économiques permettent en théorie, comme le disent DOURLENS et al. (19991 : 35), « d'aider à la décision, de jauger l'intérêt relatif de telle ou telle mesure de protection par rapport aux résultats escomptés. » Une évaluation de la rentabilité économique des réalisations pose néanmoins toujours certains problèmes encore actuellement. Premièrement, la quantification des dommages aux personnes est problématique : ils se comptent en morts ou blessés et il serait nécessaire de tenir

compte non seulement des coûts sociaux d'un décès mais également de l'exposition plus ou moins volontaire de la victime au risque. Les coûts indirects, principalement sociaux et économiques, liés par exemple à la fermeture d'une route, devraient également être considérés, mais sont eux aussi, difficilement quantifiables. Aucune méthode permettant la prise en compte d'une globalité de facteurs n'a encore été adoptée. Jusqu'à présent, c'est la relation de « coût-efficacité » proposée par Wilhelm en 1997 qui est la plus souvent utilisée.

La prise en considération des projets de défense se fait grâce à la **quantification des dangers d'avalanche** selon la région considérée : les différents types de zones de danger sont traités séparément : Wilhelm (1997) distingue les régions d'agglomération des axes de transport. Sa méthode quantifie les facteurs de risque et sa réduction en considérant non seulement la probabilité de déclenchement d'une avalanche (périodicité) et son ampleur, mais également le potentiel de dégâts (valeur et probabilité de la présence d'un véhicule ou d'une personne). Tous ces facteurs peuvent être modifiés par des mesures de protection ou de prévention. Ainsi, le risque de départ (ou risque initial) sera calculé, de même que le risque résiduel après construction des ouvrages (déterminé selon un seuil d'acceptance du risque) et la réduction du risque. Cette question de l'évaluation de la prestation des projets de protection fait partie des programmes de recherche actuels : nous allons présenter le projet pilote « Effor 2 » mis en place par la Confédération en 1999 (d'une durée de 4 ans). Comme il s'appuie sur les études de WILHELM, sa méthode de « coûts-efficacité » sera précisée par la même occasion.

Le projet Effor 2 a pour objectif la recherche de nouvelles méthodes de subventionnement, afin d'accroître l'efficacité des moyens employés en matière de protection contre les dangers naturels (WUILLOUD 1999b). Cette méthode d'évaluation du risque devrait permettre de déterminer un montant fixe pour une prestation bien définie, laquelle est évaluée grâce à l'indicateur « risque ». Premièrement, le risque collectif initial est déterminé, au moyen de la carte des dangers, qui est la base et l'instrument de travail dans les **zones d'agglomération**. Le nombre d'hommes et la valeur réelle des objets menacés sont recensés. Ces informations correspondent au potentiel de risque. Afin de pouvoir comparer les dommages aux personnes et les dégâts matériels potentiels selon les diverses variantes, un facteur de conversion est nécessaire : une valeur monétaire leur est donc donnée. Ce calcul est réalisé selon plusieurs scénarios (scénario minimum, rouge, bleu, maximum<sup>31</sup>), qui permettent de prendre en compte différentes dimensions des dangers naturels (périodicités et potentiel de dégât) ainsi que les effets de mesures temporaires comme les évacuations éventuelles. Le risque collectif résiduel est ensuite calculé : il correspond au potentiel de risque après réalisation des mesures techniques (il peut néanmoins être estimé en phase de projet). On examine alors une modification, soit des cartes de danger (qui reste fictive), soit de la périodicité (augmentation). La

---

<sup>31</sup> Dans le « scénario minimum », l'avalanche entre dans la zone de danger rouge ; elle recouvre toute la surface de degré de danger rouge pour le « scénario rouge », entre dans la zone bleue pour le « scénario bleu » et dépasse la zone bleue pour le « scénario maximum ». Des valeurs sont fixées d'avance pour tous les scénarios, par exemple la létalité (nombre de victimes par événement) qui est une valeur statistique.



différence entre le risque initial et résiduel va donner la réduction du risque, et ainsi une indication sur les performances de protection.

Sur les axes de transport, la méthode se base sur la probabilité d'être présent quand l'événement se produit : pour calculer le risque initial, plusieurs paramètres sont pris en compte : la fréquence sur la route (trafic journalier moyen), l'occupation moyenne des véhicules, leur vitesse et la distance entre eux, les conséquences de l'accident, la périodicité qu'un événement atteigne l'axe de transport et la largeur effective du couloir. Cette méthode pose quelques problèmes : notons premièrement la difficulté de déterminer la périodicité de l'avalanche. Le seul outil disponible est le cadastre des événements car les cartes de danger ne sont réalisées que pour les zones de forte vulnérabilité (zones bâties). De plus, peu de données sur les événements ayant atteint les axes routiers sont disponibles. Deuxièmement, les risques initiaux sont exprimés par les statistiques annuelles de décès ou par une unité monétaire ; cette estimation ne prend ainsi pas en compte les dégâts matériels ni les conséquences sociales et économiques indirectes d'une fermeture de route sur une région (approvisionnement, économie touristique, etc.). Finalement, le calcul du risque résiduel est difficile de par un manque de données pour des décrochements naturels d'avalanches sur des routes ouvertes (WILHELM 1997 : 280-81). Un exemple d'application de la méthode de Wilhelm à l'évaluation de la protection d'une route par des digues de déviation et d'arrêt est intégrée en annexe 8.

Le risque total est déterminé par ces deux évaluations différentes du risque, en zone d'agglomération et sur les axes routiers. On peut ensuite réaliser une analyse coûts-efficacité qui compare la diminution du risque et les coûts (d'investissement et d'entretien). Le quotient des deux facteurs exprime le degré d'efficacité. Des variantes différentes pourront ainsi être facilement comparées. L'adoption d'une telle méthode de quantification permettrait une homogénéisation sur l'ensemble de la Suisse et offrirait une aide à la décision pour les autorités fédérales et cantonales en ce qui concerne l'évaluation et la comparaison des projets entre eux. La Confédération fixera d'ailleurs sa part financière sur la base de la réduction du risque amenée par les mesures de protection réalisées par le Canton. Les limites d'une évaluation purement économique ne doivent cependant pas être oubliées.

Maintenant que les méthodes actuelles d'évaluation des projets de défense sont précisées, nous allons initier notre étude sur le SIRS Réalisations. Nous avons vu que l'objectif principal de ce système est d'offrir un outil aux autorités cantonales dans leur tâche d'approbation des projets. Il doit ainsi faciliter l'évaluation des projets. Son niveau d'action peut se visualiser dans la figure 7 : il ne sera pas une aide pour les bureaux d'ingénieurs forestiers, mais pour l'Etat. Il devrait donc offrir une vision globale au responsable des dangers naturels pour qu'il puisse évaluer les projets présentés par ces ingénieurs sur demande des communes.

## 9.2 SIRS Réalisations : introduction - rappel des étapes

Nous venons de voir l'importance actuelle de la gestion des ouvrages de défense contre les avalanches. Sur demande du responsable des dangers naturels du canton du Valais, nous avons donc décidé de considérer cet aspect de plus près. Il nous a exposé certains de ses désirs quant à la partie du SIRS Avalanches concernant les réalisations, en particulier relativement aux données spatiales à y intégrer. Au cours des réflexions menées parallèlement au contenu de ce SIRS, nous avons constaté certaines imprécisions. Il nous a ainsi paru nécessaire de reprendre le processus de réflexion au début de sa mise en œuvre, afin de ne pas en négliger les aspects essentiels et de pouvoir ainsi vérifier l'intégration de données sur les réalisations. Une telle démarche, allant du général au particulier, nous permettra par la même occasion d'évaluer la pertinence de la représentation des ouvrages sous forme de données spatiales.

Pour mener à bien cette entreprise, nous avons décidé d'adopter une **méthode de conception** des SIRS selon une série d'étapes, telles que celles présentées par de nombreux auteurs. Nous avons précédemment combiné les réflexions de plusieurs d'entre eux afin de définir une série d'étapes qui nous semblait cohérente et relativement complète<sup>32</sup>. Nous allons donc reprendre cette méthode.

Premièrement, il est essentiel de procéder à une analyse détaillée des besoins du futur utilisateur, de l'existant et des données nécessitant d'être acquises. Tous ces aspects sont ensuite repris et évalués dans la deuxième étape, qui permet de définir la faisabilité d'un tel projet. La troisième phase comprend normalement la modélisation des entités spatiales et thématiques. Or, comme le modèle logique des données a déjà été réalisé, nous partirons de ce dernier et le modifierons pour l'adapter selon les réflexions menées à ce point : les troisième et quatrième étapes seront ainsi traitées conjointement. Une fois à ce stade de la réflexion, nous aurons en un sens rejoint l'état d'avancement du SIRS tel qu'il était lorsque nous avons commencé notre étude. Nous aurons donc réalisé un « retour en arrière », que nous pourrions qualifier de « boucle de conception », lequel aura permis de préciser la future structure des données sur les ouvrages. Après ces diverses phases, quelques suggestions quant à l'acquisition des données (contenu et qualité) dans le futur pourront être émises.

La cinquième étape est celle du développement : les aspects relatifs à l'acquisition des données seront présentés. Nous exposerons également dans ce chapitre les modifications amenées par plusieurs tests consécutifs d'exploitation, réalisés dans le but de valider la structure du modèle. On aura ainsi été à nouveau ramené à la quatrième étape par ces autres « boucles de conception ». La mise en place du système au sein de l'organisation et le développement de l'interface utilisateur nécessitant des connaissances que nous ne possédons pas, nous ne pourrions donc pas présenter les phases d'exploitation et de maintenance du

---

<sup>32</sup> Se référer au chapitre 5.3 de cette étude

système telles qu'elles le seront à terme. Il sera néanmoins possible de présenter un éventail des produits qui pourront être extraits de ce système. Après cette dernière étape de la conception du « SIRS Réalisations », nous procéderons finalement à une évaluation des résultats : ce bilan nous permettra de définir quel type de SIRS peut être mis en œuvre et de vérifier si les objectifs de départ ont été remplis, notamment si ce système constitue un outil d'aide à la décision de même qu'un outil de gestion. La figure qui suit offre une vision synthétique de la démarche suivie et des divers retours en arrière, que nous pourrions appeler « boucles de conception », qui ont amené des modifications.

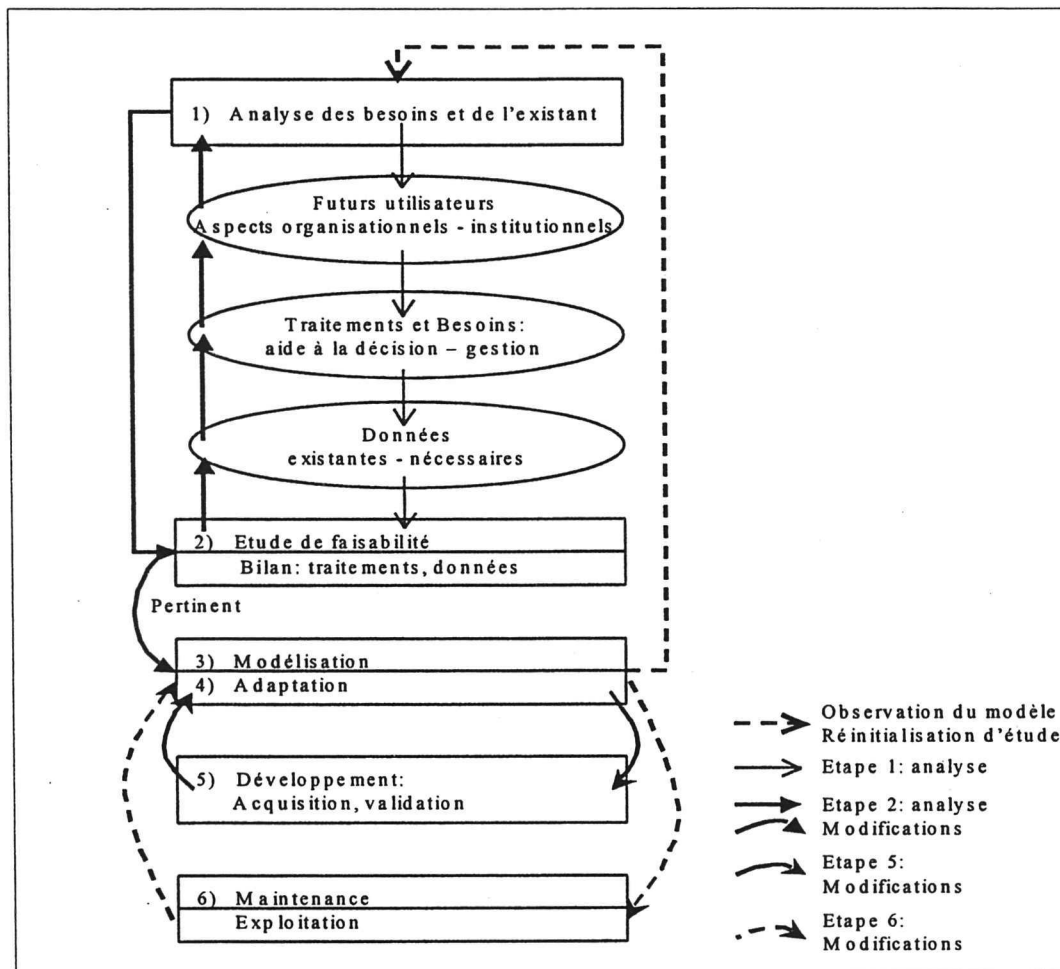


Fig. 8 : Démarche suivie pour l'évaluation de la pertinence du « SIRS Réalisations »

### 9.3 Analyse des besoins et de l'existant - 1<sup>ère</sup> étape

Le « SIRS-Réalisations » n'est en soi pas un SIRS à part entière. Il ne comporte en effet que les informations sur les ouvrages de défense effectués et en cours de réalisation et n'a de véritable intérêt que combiné avec les autres volets du SIRS Avalanches. Les divers **acteurs et partenaires** qui vont l'utiliser sont ceux qui vont exploiter le SIRS Avalanches. A mentionner en premier lieu le responsable des dangers naturels qui est chargé des questions relatives aux ouvrages de défense. Les informations concernant les réalisations étant passablement techniques et détaillées, elles sont donc surtout spécifiques à son domaine. Les autres utilisateurs, aménagistes du territoire, inspecteurs et ingénieurs forestiers vont ainsi surtout se référer aux deux autres volets du système, concernant les avalanches et les événements, et aux informations données par les cartes de danger.

Les ingénieurs et inspecteurs forestiers de même que les communes devraient pouvoir accéder au SIRS Réalisations, pour y intégrer directement les informations concernant les divers projets et ouvrages, notamment les données techniques et celles relatives à leur état et aux travaux d'entretien. Il serait ainsi plus facile de tenir à jour les données et le partage, respectivement la diffusion des données se verraient considérablement facilités. Notons qu'une mise en place permettant une telle décentralisation de la saisie des données est relativement complexe et n'a pas encore été planifiée. A court terme, l'acquisition et l'actualisation des données sera réalisée par les neuf inspecteurs forestiers ainsi que par les divers intéressés travaillant au Service des Forêts et du Paysage du canton. Les communes ne devraient avoir qu'un outil de consultation leur permettant d'accéder à la carte de dangers. Le principal utilisateur actuel des aspects relatifs aux ouvrages reste le responsable des dangers naturels. Nous allons de fait exposer ses besoins et attentes dans le chapitre suivant, et allons tenter de les compléter afin de présenter d'autres traitements qui pourraient être exigés d'un tel système d'information. Nous passerons ensuite à l'analyse des données.

#### 9.3.1 Besoins et traitements désirés

Les tâches principales du responsable des aspects relatifs à ces projets peuvent se répartir en deux catégories principales, mentionnons :

- premièrement, les tâches concernant **l'approbation des projets**. Comme nous l'avons exposé précédemment<sup>33</sup>, une protection totale en tout lieu ne peut être amenée pour des questions financières principalement, sans compter sur l'impossibilité d'atteindre un risque zéro de par le caractère souvent

---

<sup>33</sup> Se référer au chapitre 4.2.5 concernant la récente évolution de la prise en compte des dangers en Suisse.

imprévisible des phénomènes. Cette prise de conscience a ainsi modifié la gestion des dangers naturels, laquelle prône actuellement une gestion basée sur l'identification et l'évaluation des dangers puis sur la planification des mesures. Comme vu précédemment, il devient donc nécessaire de pouvoir déterminer des priorités et cibler les régions devant être protégées. La tâche principale du responsable des dangers naturels est ainsi l'évaluation des avant-projets, dans le but de donner son aval à l'accord de subventions cantonales, avant que ceux-ci ne soient soumis aux autorités fédérales. Notons également qu'il est constamment tenu de justifier les moyens investis auprès de la Confédération, qui souhaite quantifier l'apport amené par les divers ouvrages afin de ne réaliser que les projets dont le rapport coût-efficacité est élevé ;

- deuxièmement, les tâches relatives à la **gestion de ces données** sur les projets : soit un besoin non seulement de stocker cette masse importante d'informations, mais également de pouvoir la retrouver et l'exploiter facilement. Des indications sur le type et le nombre de projets réalisés, leurs coûts, l'état d'avancement des en cours, etc. sont essentielles pour des questions de politique préventive, et peuvent également faciliter les prises de décision en apportant des visions synthétiques de l'ensemble des réalisations.

Le SIRS Réalisations aurait ainsi deux objectifs : être un outil d'aide à la décision et de gestion. Nous allons continuer cette analyse en décrivant plus précisément les besoins du gestionnaire relativement à ces deux aspects principaux qu'il serait souhaitable d'intégrer dans le système d'information.

### Un SIRS comme outil d'aide à la décision

Pour évaluer les divers projets de protection, le responsable des dangers naturels doit prendre en compte les aspects relatifs aux ouvrages, mais surtout, leurs objectifs de protection. On pourrait ainsi exiger d'un SIRS qu'il **aide à déterminer les objets du territoire** concernés par un ouvrage. Les fonctions d'analyse spatiale devraient permettre l'extraction d'une information précise sur la portion du territoire concernée : elles offrent en effet la possibilité de mettre en évidence les entités comprises à l'intérieur d'une surface ou encore d'analyser les intersections entre couches spatiales. Dans notre cas, cet outil pourrait ainsi être utile pour déterminer le nombre et type de bâtiments ou la longueur d'un tronçon routier situés à l'intérieur de la zone qui sera protégée par l'ouvrage. On aurait ainsi un aperçu direct et rapide des objets protégés et le gestionnaire disposerait d'un outil efficace de support à sa décision. Notons qu'il n'a actuellement que la carte des dangers et les informations relatives aux divers avant projets comme support à sa décision.

L'approbation des projets n'est pas la seule tâche qui nécessiterait une aide à la décision. Le SIRS Réalisations devrait également amener une aide pour la **gestion préventive** des dangers et pour la **gestion de crise**. Leur mise en œuvre nécessitant la connaissance des zones potentiellement à risque, le SIRS devrait pouvoir déterminer les zones caractérisées par un risque élevé. Il serait donc plus facile de prévoir les cas critiques, et ainsi, de planifier des mesures de protection passive ou de prévention et de cibler la réalisation d'ouvrages de protection. La mise en évidence de ces zones à vulnérabilité élevée demande donc des



traitements permettant de définir les régions menacées par un danger d'avalanche qui présentent un conflit important du point de vue territorial, et qui ne sont pas concernées par un projet de défense (ou le sont par des ouvrages non fonctionnels).

Un SIRS devrait également permettre la prise en compte des **aspects temporels**, et ainsi aider à déterminer l'efficacité de l'ouvrage dans le temps. En mettant en relation les portions du territoire protégées par des réalisations et une information spatiale sur l'extension des événements ayant amené des dégâts, on pourrait déterminer quels ouvrages ne remplissent pas ou plus leur rôle de protection parfaitement, et ainsi cibler les mesures d'entretien. On rejoint ici à nouveau les besoins exprimés plus haut de connaître la présence ou non d'ouvrages, leur état, et ainsi le niveau de protection atteint. A noter que le SIRS ne devrait pas seulement offrir la possibilité d'une recherche critériée sur la base de données administrative, mais surtout pouvoir produire cette information en analysant les relations spatiales entre les éléments, un SIRS étant en effet avant tout un outil indéniable à vocation d'analyse spatiale.

### Un SIRS comme outil de gestion

L'accroissement du nombre de projets rend une **vision globale des travaux entrepris** de plus en plus difficile. L'ancien système de gestion de ces données administratives (effectué au moyen d'Excel) ne permettait pas d'accéder aisément aux informations sur les projets mais n'offrait surtout pas une vision globale et synthétique de l'ensemble des réalisations. Or, il semble essentiel de pouvoir connaître ce qui a été réalisé, dans quelle commune et à quelle date, afin de permettre, entre autres, une évaluation en tout temps de l'état de protection et du risque résiduel. Les ouvrages ayant une certaine durée de vie, il semble essentiel de pouvoir déterminer ceux qui vont nécessiter d'importantes réfections dans un futur proche, par exemple pour prévoir un planning des futures allocations de fonds ou pour simplement rendre les communes attentives au fait d'une diminution possible de l'efficacité de l'ouvrage, et les encourager ainsi à opérer des contrôles plus rigoureux. Les informations concernant les réalisations en cours doivent aussi être facilement accessibles afin de faciliter la mise à jour, de permettre un suivi de l'avancement des travaux et des changements d'ordre de priorités lorsque des événements nécessitent la construction urgente de nouveaux ouvrages. Pour changer l'allocation des subventions par année, le responsable doit en effet pouvoir prendre en compte l'ensemble des informations de tous les projets en cours. Il est donc primordial que **l'accès aux informations** et leur **mise à disposition** soient facilités pour que leur exploitation devienne possible. En ce sens, le SIRS Réalisations devrait ainsi amener une réponse en apportant une solution aux nécessités de stockage, d'extraction et de production d'informations.

Jusqu'à présent, aucun outil ne permettait de répondre à ces besoins en facilitant l'extraction de l'information : les données étaient certes présentes dans la base de données Excel, mais il était impossible d'effectuer des recherches critériées. Les divers projets étaient en effet regroupés en « classeurs Excel » par commune, et ainsi, seule une exploitation (non automatisée) de la base selon ce critère était possible. Il était par exemple impossible de n'extraire que les projets en cours car ils étaient regroupés avec ceux terminés. Les informations les concernant se

trouvaient regroupées seulement dans les nombreux classeurs spécifiques à chacun d'eux, stockés dans les bureaux du Service des Forêts et du Paysage. A noter qu'il n'est pas très aisé d'obtenir une vision globale de ceux-ci en feuilletant des classeurs souvent épais. Tant que le nombre de projets en cours de réalisation reste limité, il est possible d'en avoir une appréciation générale mentale. Elle sera néanmoins fortement compromise si le nombre de projets de défense devait augmenter dans le futur, comme M. F. Dufour l'exhorte.<sup>34</sup> La nécessité d'un nouveau système de gestion apparaît ainsi évidente.

On pourrait ajouter un autre besoin lié à cet aspect de gestion : le **suivi des projets** n'est jusqu'à présent pas réalisé et semble pourtant essentiel. En effet, une fois les ouvrages terminés, il est opéré par les communes qui sont tenues, par la loi forestière valaisanne<sup>35</sup>, de les vérifier et les entretenir. La section des dangers naturels ne reçoit donc plus la moindre information sur leur état, sauf lorsque d'importantes réparations (d'un montant du devis est supérieur à 20'000.-) doivent être entreprises et nécessitent des subventions. Or il semble important que des informations à jour concernant l'état des ouvrages soient accessibles. De telles données permettraient d'extraire les réalisations qui ne sont plus fonctionnelles ou qui ne remplissant plus parfaitement leur fonction de protection : les décisions relatives à la prévention des dangers et à la gestion de crise se verraient facilitées, grâce à une localisation possible des régions nécessitant une attention particulière. Le SIRS devrait donc rendre possible le suivi des projets afin d'améliorer la connaissance de l'état des ouvrages, et ainsi, permettre une **gestion de l'historique** : ouvrages détruits, endommagés, rénovés, dates des rénovations.

Des indications sur les frais d'entretien permettraient également de chiffrer plus précisément les coûts totaux nécessités par chaque ouvrage, et de comparer ainsi les divers types de construction. Cet aspect relatif à la gestion de l'historique et à l'entretien des ouvrages risque de prendre de l'importance au cours de ces prochaines années : en effet, ceux réalisés au début des années 1950 vont prochainement nécessiter des rénovations conséquentes. Notons par exemple que des ouvrages en bois (râteliers,...) assure une protection pendant 30 à 50 ans. Les autres ouvrages (métalliques, digues) ont une durée de vie plus longue, de l'ordre de la centaine d'années (Leuenberger 1991 ; OFEFP 1990 : 41-60), mais nécessitent néanmoins d'être contrôlés en détail tous les 3 à 5 ans. Les nouveaux systèmes de déclenchement artificiel d'avalanches (Gasex) ne durent quant à eux qu'une dizaine d'années.

Il n'est actuellement pas possible de conserver ces informations sur les coûts d'entretien dans la base de données. L'inventaire Excel comportait des plages pour noter les aspects liés à l'assainissement, mais cette information ne pouvait être stockée : elle était supprimée une fois l'ouvrage remis à neuf. Quant au montant des rénovations, il ne pouvait être intégré ailleurs qu'au sein de la plage « remarques », encore moins exploitable que le reste de la base, sous peine que l'information sur le devis initial du projet ne soit perdue. L'intégration de ces

---

<sup>34</sup> Se référer au rapport de ses opinions dans le cadre de la problématique.

<sup>35</sup> Loi forestière du 1er février 1985, RO/VS 1985, art. 35.

aspects semble pourtant essentielle. Le SIRS devrait ainsi pouvoir stocker et gérer ces données.

Finalement, le SIRS doit permettre une **présentation de cette information**, afin que le responsable des projets d'ouvrages puisse la communiquer pour justifier les dépenses réalisées, notamment pour des questions de politique préventive et d'obtention de nouveaux fonds. Jusqu'alors, les statistiques qu'il pouvait extraire se limitaient principalement à des renseignements donnés par arrondissement forestiers, et il était passablement difficile de ne sélectionner qu'une partie des informations. Le nouveau système doit donc rendre possible la production de statistiques tant générales que précises (par communes et par type). Il serait utile de pouvoir également visualiser ces informations sous forme d'inventaires localisés : les avantages donnés par une représentation graphique du point de vue rapidité de compréhension et de vision synthétique étant indéniables.

Au travers de cette analyse des besoins, nous avons tenté de préciser certaines des tâches principales du gestionnaire des projets de défense, et d'imaginer quelles améliorations et extensions pouvaient être amenées par les systèmes d'information à référence spatiale. Nous sommes néanmoins consciente que cette présentation des besoins de la profession est certainement réductive et qu'elle ne comprend qu'une partie des tâches réalisées en pratique. Celles-ci étant nombreuses, nous nous sommes donc strictement limitée aux aspects du ressort exclusif des ouvrages de protection contre les avalanches.

### 9.3.2 Analyse de l'existant et données nécessaires

Après avoir précisé les besoins, il est essentiel de procéder au deuxième volet de cette première étape, soit l'analyse des données disponibles et nécessaires pour répondre aux attentes du futur utilisateur du système d'information. Nous allons commencer par considérer les données spatiales, qui sont spécifiques aux SIRS, puis analyserons celles thématiques.

#### Données graphiques

Jusqu'à présent, aucune donnée spatiale n'était collectée concernant les ouvrages de protection : seules les coordonnées de l'emplacement général du projet étaient mentionnées dans la base de données administratives. Ce n'était pas vraiment une information spatiale, les coordonnées ne pouvant être représentées sur une carte. A noter également qu'elles ne sont pas précises : elles représentent un point situé quelque part à l'intérieur du périmètre du projet. Or, celui-ci peut comporter plusieurs réalisations, localisées à des emplacements différents et pouvant être passablement éloignées les unes des autres. On note ainsi une véritable lacune en données géographiques. Le responsable des dangers naturels en Valais souhaitait avoir les périmètres construits des ouvrages de défense contre les avalanches et ceux définissant les zones protégées, et ce, comme nous l'avons vu, dans l'objectif principal de déterminer la pertinence des projets. Nous allons donc présenter celles qui ont été désirées par M. C. Wuilloud, de même que celles dont l'intégration dans un SIRS semble intéressante.

- a) Le **périmètre de construction** du projet offre une localisation des réalisations. La question du niveau de précision de cette information se pose néanmoins, notamment en ce qui concerne les ouvrages tels que bermes, claies ou râteliers. Une représentation à grande échelle de chacun d'entre eux permettrait d'obtenir une information précise rapidement. Il serait possible de noter les ouvrages supprimés ou endommagés et ainsi visualiser leur emplacement par rapport au périmètre construit. Ceci pourrait être utile, vu que la suppression de claies (par exemple) situées en bordure d'un périmètre a une importance bien plus grande que si elles se trouvent au centre de celui-ci. L'impact de ces changements sur le niveau de protection pourrait être estimé. Il serait possible de regrouper ces informations précises à l'échelle plus petite du périmètre de la zone considérée grâce à un identifiant commun. Seule la surface construite pourrait ainsi être considérée, ce qui permettrait d'éviter une surcharge d'informations et un niveau de détail utile principalement pour les questions liées à l'état et à l'entretien des ouvrages. L'exploitation et l'analyse des données pourraient ainsi se faire à deux échelles de précision différentes, suivant les traitements désirés. Ces données semblent ainsi principalement utiles pour un suivi de l'entretien et la connaissance de l'état de protection. Elles permettraient évidemment aussi de visualiser toutes les zones « aménagées ».
- b) Deuxièmement, nous avons mentionné qu'il serait essentiel de pouvoir représenter la zone protégée par la réalisation, ce qui consiste à introduire le **périmètre de protection** du projet général ou encore mieux, de chaque zone de construction. Une information détaillée pour chacun de ces ouvrages serait utile pour cibler les mesures de prévention passives devant être prises : elle permettrait de mettre en évidence la zone menacée dans le cas où une réalisation ne serait plus fonctionnelle (ouvrage déficient, de dimension insuffisante, digue déjà remplie par une coulée, etc.). Des traitements d'analyse spatiale pourraient être effectués par recoupements entre cette couche d'information et des données spatiales sur le territoire, ce qui permettrait l'estimation de l'objectif de protection. Pour pouvoir réaliser une telle analyse spatiale, les diverses entités du territoire (bâtiments, routes, lignes haute tension, installations touristiques, etc.) nécessitent cependant d'être digitalisées séparément.
- c) R. GREPPIN (CREALP 2000) a également suggéré l'introduction du **périmètre général du projet**, comprenant tous les ouvrages réalisés. Selon lui, cette information serait importante pour différencier les régions pour lesquelles une étude a été faite des zones jamais étudiées. Ce périmètre permettrait selon lui de déterminer les régions où le risque est nul, du moins fortement réduit.

#### Données attributaires

Nous avons déjà passablement décrit les données thématiques disponibles lors de la présentation du SIRS Avalanches et de son modèle logique<sup>36</sup>. Nous allons donc mettre l'accent sur les données qui devraient être acquises. Nous allons

---

<sup>36</sup> Se référer au chapitre 5.2.2.

néanmoins rappeler brièvement le contenu de cet inventaire : il comprend des informations :

- a) **administratives** sur le projet, tels que numéro, nom, dates d'approbation, devis, existence d'une carte de danger, avalanche concernée et calcul de celle-ci effectué ou non ;
- b) **sur le type d'ouvrage** réalisé ;
- c) **sur les objets du territoire**, soit sur l'objectif de protection (selon les zones de degrés de danger en ce qui concerne les bâtiments).

Au cours de nos réflexions et des discussions avec M. Ch. Wuilloud, nous avons pensé à l'intégration d'une série d'information :

- d) afin de permettre une représentation et comparaison des projets selon les données thématiques sur leur objectif de protection, il a été question d'associer une **valeur standard** aux divers objets du territoire mentionnés dans la base et d'en calculer la somme. Il semblerait néanmoins nécessaire de pouvoir comparer le potentiel de dégâts (objets menacés) avant et après la construction, pour ainsi **chiffrer la réduction du risque** amenée par le projet ;
- e) les données fondamentales devant être intégrées se rapportent principalement à la question de **l'entretien**. Il serait premièrement indispensable d'introduire l'aspect temporel, et pouvoir retracer quand les ouvrages ont été réparés ou redimensionnés. Les coûts d'assainissement ainsi que le type et la cause des dégâts seraient également utiles : ces données permettraient à terme de comparer les types d'ouvrages entre eux, et les améliorer en connaissant la cause principale des dommages. Lors de la saisie de l'inventaire des ouvrages sous Excel, il avait déjà été prévu d'introduire une telle information sur la quantité « à assainir », mais elle n'était que rarement intégrée, la mise à jour de cette base de données étant rendue très difficile, notamment par un logiciel inadapté. Comme il semble utile de pouvoir localiser les ouvrages endommagés, cette donnée devrait être liée aux données spatiales précises des ouvrages. De même pour les informations de redimensionnement ou suppression.

Nous avons exposé les données disponibles et celles devant être intégrées pour permettre au SIRS de répondre aux objectifs désirés. C'est un système qui doit être relativement polyvalent : il devrait à la fois constituer un outil de consultation et de gestion, mais également permettre une aide à la décision, et ainsi s'approcher d'un certain niveau d'expertise. Il n'est cependant pas prévu pour être utilisé par des experts de la modélisation des avalanches ni par les ingénieurs forestiers qui proposent les modifications des zones de danger, amenées par la construction d'ouvrages. Afin de déterminer si un tel SIRS peut être réalisé, il est essentiel de procéder à une étude de faisabilité.



## 9.4 Etude de faisabilité - 2<sup>ème</sup> étape

Cette étape va nous permettre d'évaluer la faisabilité d'un SIRS intégrant les données suggérées au cours de l'étape précédente. Pour ce faire, nous allons analyser chacune d'entre elles afin de déterminer si elles peuvent et valent la peine d'être acquises. Nous les reprendrons dans l'ordre de leur présentation et commencerons ainsi à nouveau par les données géographiques. Cette étape comporte généralement également la présentation de scénarii, mais nous n'en proposerons pas de nouveaux, l'étude technique du SIRS concernant le matériel à adopter, les aspects économiques, de même qu'une maquette du projet ayant déjà été réalisés.

### 9.4.1 Données graphiques

- a) Une **représentation précise et à grande échelle** des ouvrages de défense ne semble pas très judicieuse. Il serait certes très intéressant de pouvoir visualiser les ouvrages endommagés relativement à leur position au sein du périmètre, mais l'acquisition de données à un tel niveau de précision serait extrêmement lourde et impliquerait une observation sur le terrain. Il est en effet difficile de retrouver ces informations pour les anciennes réalisations, ces données ne se trouvant plus au sein du service des Dangers naturels mais aux archives cantonales ou dans les diverses communes. De plus, les cartes des ingénieurs représentant précisément les zones de construction ne sont pas totalement fiables car elles sont réalisées au stade du projet : l'ensemble des travaux prévus n'est ensuite pas forcément réalisé, notamment en cas de budget épuisé. Ces périmètres ont également pu subir des modifications (suppression ou ajout d'ouvrages) depuis leur construction. Notons également la difficulté d'actualisation de ces données : leur mise à jour dépendrait directement du professionnalisme des responsables des diverses communes. Une telle solution ne semble donc envisageable qu'en cas de centralisation des aspects liés à l'entretien et au suivi des ouvrages, ou du moins en rendant possible la saisie et l'intégration des données dans le SIRS directement par les communes.

L'acquisition du **périmètre général de construction** d'une zone d'ouvrage pose également des problèmes. Notons à nouveau la question de la disponibilité et fiabilité des données : comme nous l'avons mentionné, les cartes des ingénieurs ne reflètent pas forcément l'état de construction réel. Il a été envisagé de représenter la surface de construction à une échelle au 1/25'000, qui n'exigerait ainsi pas une précision excessive. La saisie d'une telle information reste toutefois passablement lourde : en effet, certains projets actuels comportent une délimitation de ce périmètre, mais la qualité de cette information est loin d'être homogène et n'est généralement qu'une indication très générale de la localisation de l'ouvrage, fréquemment sous forme de cercle. Cette donnée n'est de plus pas toujours disponible en ce qui concerne les anciennes réalisations. On pourrait néanmoins exiger son acquisition pour les prochains projets, mais là encore, il faut se demander si une information à cette échelle serait vraiment judicieuse : une analyse spatiale sur de telles données (calcul de la surface, du périmètre) ne donnerait

que des résultats très approximatifs qui ne semblent pas suffisants pour justifier l'important effort de saisie.

- b) La délimitation du **périmètre de protection** de chaque ouvrage ou même de l'ensemble du projet est également compromise. Après une discussion avec Mme C. Winkler, collaboratrice d'un bureau d'ingénieurs forestiers, nous avons en effet appris qu'il est difficile, voire même impossible, premièrement d'évaluer un ouvrage séparément, l'étude d'un projet de protection étant généralement réalisée sur la combinaison d'un ensemble de mesures, et deuxièmement de définir exactement quelle zone sera effectivement protégée. Seules les galeries amènent une protection totale et rendent possible la délimitation exacte de cette zone. Les ingénieurs forestiers peuvent plus ou moins estimer quelle portion du territoire sera concernée par la construction des types d'ouvrages modifiant le paysage tels que les digues (de déviation, d'arrêt), mais en ce qui concerne ceux réalisés dans l'aire de décrochement, leur efficacité et aire d'influence sont encore mal connues. Les phénomènes restent imprévisibles et les progrès scientifiques réalisés dans le domaine de la modélisation des avalanches ne permettent quand même pas d'assurer un risque nul. Notons également que les cartes de danger ne sont pas modifiées après la construction d'ouvrages en zone de décrochement, et le sont seulement lorsqu'il y a modification du terrain (digues), et ce, après une observation de l'efficacité de la réalisation sur plusieurs années. Ce n'est qu'ensuite qu'une nouvelle étude des degrés de danger pourra être entreprise afin de déterminer la réduction de ces zones. Par conséquent, pour des raisons de connaissance et de responsabilité, les ingénieurs ne veulent et ne peuvent pas se risquer à donner une délimitation précise de la portion de territoire protégée par les ouvrages, les galeries mises à part. Il n'est ainsi pas possible de délimiter de manière sûre la zone effectivement protégée par l'ouvrage assez tôt pour permettre au responsable d'utiliser cette information pour l'évaluation des projets, une période de « test » étant obligatoire.

Les ingénieurs donnent néanmoins généralement toujours une **indication de la réduction du risque** amenée par l'ouvrage, pour justifier le projet auprès des autorités cantonales et fédérales : sous forme de carte de danger provisoire (estimée) ou en indiquant les objets concernés selon la carte de dangers homologuée. Cette information est néanmoins de plus en plus souvent donnée comme « réduction de la probabilité d'occurrence de l'événement ». On aura ainsi une indication en termes d'années de l'augmentation de la périodicité de l'événement et de la réduction de la probabilité d'occurrence des dégâts. Les cartes de danger sont par conséquent la seule évaluation de la réduction du risque pouvant être cartographiée. Là encore, des problèmes se posent : non seulement de cohérence de la base de données, cette information n'étant pas disponible pour tous les projets, mais également en ce qui concerne la diffusion des données. Une carte de danger étant un document très sensible, il semble dangereux, pour des questions juridiques, d'intégrer au SIRS des cartes provisoires, non homologuées, qui ne sont que des estimations réalisées pour offrir une vision de la réduction du risque obtenue : le risque de prendre en compte par inadvertance une carte non homologuée dans un problème de planification territoriale ne peut être

assumé. Si ces données venaient à être intégrées, il serait donc nécessaire d'instaurer des contraintes d'accès strictes.

Notons finalement que le périmètre de protection de l'ouvrage ou du projet ne permet pas non plus d'évaluer vraiment leur **rentabilité économique**, car comme nous l'avons vu, c'est un calcul passablement compliqué qui prend en compte de multiples paramètres. Une évaluation de cette rentabilité grâce à un SIRS qui irait dans le sens de WILHELM ou du projet EFFOR 2 semble assez difficile : une simple analyse spatiale entre le périmètre de protection de l'ouvrage et les objets du territoire ne suffirait pas. De nombreux attributs sur ces entités nécessiteraient d'être intégrés, comme des informations sur la valeur d'un bâtiment et le nombre de personnes y habitant, ou encore sur le trafic journalier des divers tronçons de routes. Ainsi, même si la digitalisation des entités territoriales est sur une bonne voie (de nombreuses couches sont déjà digitalisées ou sont en cours d'acquisition en ce qui concerne le canton du Valais), toutes les informations nécessaires ne seront néanmoins pas disponibles de sitôt, notamment en ce qui concerne les bâtiments.

La méthode de WILHELM est déjà une évaluation qui ne prend pas en compte la globalité des facteurs, alors une évaluation au moyen d'un SIRS serait alors encore moins complète. L'ensemble de ces remarques met en évidence la complexité de l'évaluation de la zone protégée, de la réduction du risque, et ainsi de la rentabilité économique de l'ouvrage. Tous les paramètres impliqués ne peuvent être intégrés sous forme spatiale dans le SIRS. Comme le périmètre protégé par l'ouvrage devait principalement servir à évaluer la pertinence des projets et à déterminer des priorités, il ne semble pas vraiment pertinent d'intégrer une information n'englobant pas les données nécessaires pour une telle évaluation. A noter surtout l'impossibilité de délimiter de manière sûre ce périmètre protégé et les difficultés de mise à jour. Cette information n'est pas non plus assez fiable et complète pour permettre de résoudre les questions relatives à la prévention des dangers et à la gestion de crise.

- c) La proposition de M. R. GREPPIN ne nous semble pas non plus pertinente. Même si les divers bureaux d'ingénieurs définissent un **périmètre global du projet**, celui-ci ne concerne pas uniquement la zone soumise à une étude, et représente encore moins une portion du territoire où le danger serait nul. Après notre discussion avec Mme C. Winkler, nous avons en effet appris que ce périmètre délimite une zone expressément plus grande que celle directement concernée par le projet. En effet, cette information sert pour les demandes d'autorisation de construire, et doit par conséquent englober toute la région qui sera touchée par les travaux, que ce soit pour la construction ou encore pour le prélèvement et le dépôt de matériel. Les ingénieurs préfèrent ainsi définir ainsi une zone volontairement plus large pour ne pas risquer de perturber les travaux.

### Bilan et améliorations

Cette analyse de la faisabilité de l'acquisition de données spatiales ne donne pas de résultats très probants. Nous avons vu les limites imposées principalement par l'impossibilité technique de déterminer ces zones relatives aux réalisations de

manière précise. Notons également l'énorme travail non seulement de digitalisation mais également d'actualisation d'une information précise sur chaque ouvrage. Les avantages amenés par de telles données ne semblent pas faire le poids. Leur intégration semble ainsi problématique et difficile à concrétiser et par conséquent, pas vraiment pertinente.

Le SIRS permettrait néanmoins de représenter graphiquement la localisation des ouvrages grâce à des coordonnées, stockées dans la base de données attributaires et converties en couche d'information spatiale par le logiciel SIRS. Comme nous l'avons mentionné, la base actuelle ne comporte qu'un jeu de coordonnées par projet. Selon nous, il pourrait être utile de préciser la localisation de chaque ouvrage par une coordonnée. Il serait ainsi possible de visualiser toutes les diverses réalisations et non plus seulement le projet, une représentation sous forme de symboles ponctuels différents pouvant de plus améliorer l'aspect visuel. Il serait de plus essentiel d'exiger une coordonnée précise afin de permettre une liaison exacte entre l'ouvrage et le couloir d'avalanches qu'il concerne.

Une digitalisation précise des galeries réalisées pourrait s'avérer utile. En effet, comme ce type d'ouvrage assure une protection totale, il serait ainsi possible de visualiser précisément les tronçons routiers protégés et ceux à risque. Les fonctions d'analyse spatiale permettraient d'extraire ceux menacés par une avalanche et non protégés par une galerie, en combinant les couches d'information des axes routiers, des avalanches et des projets de galerie. Comme il a été prévu de digitaliser les voies de communication en plusieurs thèmes suivant leur importance, des priorités peuvent ainsi être définies (actuellement, seules les routes cantonales et dessertes forestières sont disponibles). Elles pourraient également être paramétrées selon le trafic journalier moyen, pour évaluer le niveau de risque et aussi les conséquences d'une fermeture de route en cas de danger d'avalanche. La nécessité d'un regroupement de ces données entre le Service des routes et des cours d'eau et la Section Dangers naturels s'imposerait et semble essentielle pour permettre une gestion des dangers d'avalanches intégrale, surtout en ce qui concerne la prise de mesures préventives.

#### 9.4.2 Données attributaires

L'analyse des données contenues dans l'inventaire des ouvrages nous a fait prendre conscience de la prudence avec laquelle il fallait considérer leur valeur informative. Les indications données par le responsable de leur mise à jour, M. D. Schönbächler, sur leur origine et leur qualité nous ont fait remarquer une grande hétérogénéité quant à l'ensemble des aspects relatifs aux données. Un bref rappel des critères de qualité essentiels nous permettra de révéler les biais résidant dans ces informations<sup>37</sup> : Nous avons entre autres énoncé qu'elles doivent être bien définies, non contradictoires, à jour, et nécessitent une date de validité de même que des indications de leur historique. Au cours de l'évaluation des données

---

<sup>37</sup> Pour la question de la qualité des données, consulter le paragraphe relatif aux données du chapitre 5.1.5.

disponibles qui suivra, nous nous rendrons compte que ces critères ne sont pas toujours remplis.

A mentionner premièrement les aspects relatifs à la **saisie des données** : plusieurs personnes ont été chargées de cette acquisition. Elles n'ont donc sûrement pas toutes agit avec le même niveau de précision, et dans une logique uniforme, ce qui se ressent par exemple dans les nombreux formats de date observés. A noter ensuite les fautes et incohérences résultant de l'intégration de cet inventaire dans Excel. Finalement, le gros problème de la **mise à jour** réside dans le fait qu'elle est effectuée une fois l'an, et ceci pour les projets en cours. De plus, les projets déjà terminés et classés au moment de la création de la fiche de l'inventaire (années 1990) n'ont jamais été actualisés depuis lors. Nous allons donc évaluer ces données et exposer les problèmes rencontrés au niveau de leur qualité, en exposant premièrement les informations générales liées au projet, puis celles relatives aux types d'ouvrages et finalement celles concernant les objets protégés.

- a) En ce qui concerne les **données purement administratives**, notons les questions de précision de l'altitude maximale, des coordonnées et de la surface totale du projet. Cette dernière information a été en effet interprétée de deux manières différentes : elle peut représenter soit le périmètre de l'avalanche, soit uniquement celui de la zone construite, et est par conséquent difficilement comparable entre les divers projets. Les dates des cartes de danger existantes et des avalanches calculées sont des données très peu fiables, les nouvelles études réalisées après le bouclage du projet n'ayant pas été intégrées dans la base. On ne peut ainsi pas être sûr de l'actualité de ces données. Les informations relatives à l'aspect financier sont quant à elles fiables. A préciser que l'indication du pourcentage réalisé ne correspond pas forcément à la différence entre les dépenses effectuées et le devis du projet, car certains projets peuvent être totalement terminés sans avoir épuisé les fonds disponibles.
- b) Les informations sur les diverses **réalisations** ne sont pas très précises : lorsque des ouvrages d'un même type mais de dimensions différentes sont construits dans un seul périmètre, seules les caractéristiques (hauteur, longueur, volume et type) des ouvrages majoritaires sont mentionnées. A noter également l'absence de suivi de leur état et des travaux d'assainissements réalisés. Le même problème se pose pour les projets de reboisement : même s'ils ont généralement chaque fois une indication sur la réussite du reboisement, cette donnée ne constitue pas pour autant une information fiable. Comme le suivi des plantations n'a jamais été vraiment pris en compte, il est donc impossible de connaître l'actualité de ces données. De plus, aucune date ne précise l'année à laquelle l'observation du reboisement a été effectuée.
- c) Finalement, les aspects relatifs aux **données sur les objets du territoire**. A noter en premier lieu des problèmes d'interprétation : la rubrique demandant l'énumération des diverses entités du territoire était appelée « objets protégés » alors que celle offrant une synthèse de ces données était intitulée « objets menacés ». Comme ces deux appellations sont exactement



contradictoires, il en résulte une confusion sémantique sur les informations à saisir : les entités du territoire énumérées peuvent ainsi faire référence aux objets menacés, protégés ou encore simplement concernés par le projet. Cette information n'a de plus pas toujours été déterminée par les ingénieurs forestiers chargés des études techniques sur les projets, mais par divers inspecteurs forestiers, qui ont chacun agi au mieux de leur conscience professionnelle : nous n'avons donc pas la certitude que les vérifications nécessaires (nombre de bâtiments habités, etc.) ont bien été effectuées sur place. Certaines de ces informations sont ainsi des estimations relativement grossières. Notons également que ces objets peuvent être comptabilisés plusieurs fois, lors de projets concernant une même portion du territoire, un chiffre ne donnant pas d'indication sur leur localisation. De tels cas ont néanmoins été parfois résolus grâce à un report unique des objets « concernés », tout en notant une remarque pour les projets faisant référence à ces mêmes entités. Une synthèse de ces informations par commune comporterait un biais important.

- d) Une information attributaire permettant une **évaluation des réalisations** les unes par rapport aux autres semble nécessaire, au vu de la difficulté d'une telle comparaison au moyen de données graphiques. L'intégration d'une valeur standard associée aux objets du territoire mentionnés dans la base semble néanmoins problématique. Pour être valable, elle nécessiterait une clarification de l'aspect « protégé/menacé » des entités territoriales. Deuxièmement, il semble indispensable de relever le potentiel de dégâts avant et après construction des mesures, pour ainsi mesurer la réduction du risque amenée par le projet. Le problème principal avec cette solution est la difficulté de définir précisément le potentiel de dégâts et ainsi la réduction du risque. Le fait que des objets menacés puissent être comptabilisés plusieurs fois amène également un biais important. Une valeur standard par type d'objet ne reflète pas non plus la valeur réelle du bien. Il serait donc préférable d'intégrer les résultats des analyses de « coût-efficacité ou coût-avantages » réalisés par les bureaux d'ingénieurs. Cette information permettrait ainsi de classer les divers projets selon leur importance, et serait une estimation plus proche de la réalité que l'attribution d'une « valeur type » aux divers objets du territoire. Notons cependant qu'elle n'est disponible que pour le projet général et non les diverses réalisations. En effet, comme les ingénieurs forestiers cherchent à optimiser le rapport coût-efficacité du projet, ils sont souvent amenés à combiner plusieurs types de mesures et ouvrages, et étudient ainsi la réduction du risque amenée par le projet global.
- e) Les données sur l'aspect de l'**entretien** (coûts et dates des rénovations, quantité d'ouvrages ou de plants supprimée, assainie ou replantée, type et cause des dégâts) ne posent pas de problèmes : ce sont des données qui peuvent être disponibles, pour autant qu'elles soient exigées. Elles sont néanmoins difficilement intégrables de suite : comme ce sont les communes qui sont principalement chargées du suivi des ouvrages, la communication de ces informations à la Section Dangers naturels et leur intégration dans la base impliqueraient un travail énorme, qui ne pourrait en pratique pas être effectué. Le SIRS devrait permettre leur saisie à terme, lorsque les communes

ou les inspecteurs forestiers pourront les introduire directement dans la base. Les rénovations de grande ampleur (de plus de 20'000 francs) peuvent déjà y être précisées : comme elles reçoivent des subventions, les informations sont donc transmises à l'Etat du Valais.

### **Bilan et améliorations**

Ces données sont ainsi passablement hétérogènes et peu précises. Leur extraction et exploitation n'étant pas possibles sous Excel, elles ne permettraient pas non plus de répondre aux besoins du gestionnaire des projets : leur valeur informative était par conséquent très réduite. Intégrées dans un SIRS, elles seront utilisables, mais leur qualité n'en deviendra pas meilleure. Telles qu'elles le sont, l'apport pouvant être amené par ces données semble relativement limité, si ce n'est pour les aspects administratifs et pour l'obtention d'une vision vraiment générale des ouvrages réalisés.

Comme nous l'avons exposé auparavant, les SIRS sont des systèmes qui exigent une précision et une fiabilité pour qu'ils puissent remplir leur rôle de « système d'information ». La question de pertinence de la mise en place d'un SIRS avec des données telles que celles de l'inventaire des ouvrages pourrait ainsi vraiment se poser. Cependant, même si un tel système n'est pas justifié du point de vue des données et des possibilités d'analyse qu'elles offrent actuellement, il le devient par contre du fait de la nécessité de prendre en compte les dangers naturels et de gérer les informations relatives aux mesures de protection. Nous allons ainsi présenter quelques propositions d'améliorations de cette base de données, qui permettraient une exploitation plus fiable des données.

Rappelons l'intégration, déjà mentionnée dans le cadre du bilan des données graphiques, de coordonnées précises pour chaque ouvrage, sous forme d'attributs. A conseiller également l'introduction de données sur leur entretien (quantité endommagée, assainie, supprimée) et sur le devis de rénovation, pour permettre un suivi de l'état de protection et une indication sur l'ensemble des coûts induits par les divers projets. Des indications sur le type et la cause des dégâts (dégâts à la structure ou aux fondations, dus à une surcharge de neige, insuffisance technique, érosion ou chutes de pierres) pourraient être utiles en vue d'une amélioration technique des ouvrages. A ne pas oublier les indications temporelles : il est important que toute étude et observation comporte une date de validité.

Nous avons également envisagé une intégration de données plus précises sur les types détaillés des ouvrages : il nous semble en effet utile de pouvoir faire la différence entre des ouvrages ayant une hauteur de 2 ou 4 mètres : en combinant ces données avec des informations sur les hauteurs de neige tombées dans les différentes régions selon l'orientation des versants, il serait possible d'obtenir une première estimation générale des zones où les ouvrages pourraient se trouver sous-dimensionnés.

En ce qui concerne les données relatives aux objets protégés, nous avons quand même jugé utile d'intégrer une valeur aux entités énumérées, afin de permettre une comparaison grossière des divers projets, en attendant de meilleures données et l'intégration d'un degré d'efficacité. Elles sont néanmoins à

interpréter avec réserve. A noter également que des directives plus claires doivent être établies concernant les objets protégés, afin d'éviter toute confusion sémantique. Nous conseillerions l'acquisition de données sur les « objets menacés » avant et après construction. Il est en effet encore plus difficile de déterminer les « objets protégés » : les cas sont en effet fréquents où l'un d'entre eux situé en zone rouge passe en zone bleue après construction de l'ouvrage. Il est ainsi caractérisé par une réduction du risque mais reste toujours menacé. Si un tel changement est appliqué, il faudrait préciser dans la base de données les projets reflétant cette prise en compte différente des objets concernés, ce qui peut être simplement réalisé au moyen d'un booléen.

Finalement, il nous semble essentiel que le résultat des analyses de coût-efficacité soit intégré dans la base. Mais pour cela, il faut toutefois attendre qu'une méthode soit adoptée pour l'ensemble des projets et exiger qu'elle soit appliquée ; le projet pilote Effor 2 se terminant en 2002, il amènera peut-être une telle homogénéisation. Des directives précises sur l'acquisition des divers paramètres de calcul permettraient d'avoir des données comparables entre les projets. Il serait ainsi possible de résoudre en partie les questions liées à l'évaluation économique des projets. A noter toutefois que de telles analyses quantitatives ne suffisent pas à jauger la rentabilité d'une réalisation. De multiples autres critères doivent être pris en compte, tels que ceux liés, par exemple, aux conséquences économiques et sociales induites par la fermeture d'une route.

### 9.4.3 Bilan général du SIRS-Réalisations

Le SIRS-Réalisations semble passablement limité, surtout pour des questions de qualité de données et de connaissances scientifiques : seul un petit nombre des traitements désirés peuvent être effectués. Il se réduit à des fonctions de consultation et de gestion des données, les **possibilités d'analyse spatiale** étant très **restreintes** au vu de données non disponibles. Quelques traitements simples sur les données graphiques sont néanmoins réalisables en combinant les informations sur les avalanches, le territoire et les ouvrages (sous forme de données ponctuelles), et peuvent permettre de déterminer grossièrement les zones à vulnérabilité élevée. Si la précision des données est à l'avenir améliorée, ces traitements pourront apporter une information utilisable, et ainsi une certaine aide à la décision.

L'apport de ce système se limite principalement à un **accès facilité** aux données. Comme les SGBD permettent également de gérer les données et d'en faciliter l'exploitation, l'utilité d'un SIRS dans ce cas serait fortement remise en cause, si celui-ci n'était pas intégré au sein du SIRS Avalanches, qui lui, se justifie pleinement. Afin que ce système comprenne l'ensemble des données, les informations thématiques de l'inventaire des ouvrages y seront donc tout de même intégrées. Quant aux données spatiales, nous avons démontré qu'elles sont difficiles à acquérir et qu'elles nécessiteraient une organisation complexe pour pouvoir les maintenir à jour. Comme l'actualisation des données thématiques est déjà délicate (manque de données et de temps à y consacrer), celle des données graphiques paraît encore plus compromise. Il n'est par conséquent pas très

pertinent d'introduire des informations qui ne pourront être ensuite vraiment utilisables de par une validité dépassée. Il ne faut toutefois pas éliminer l'idée d'une intégration future de ces données spatiales, lorsque les ingénieurs forestiers pourront les déterminer plus précisément et les intégrer directement au sein du système. Une fois ces contraintes techniques (de connaissance) et organisationnelles (de mise à jour) réglées, l'introduction de ces données graphiques se justifiera.

Notons finalement que l'intégration des données sur les projets dans un SIRS va permettre une **sélection graphique** et une **visualisation des informations**, ce qui constitue tout de même un apport positif. Dans la suite de cette étude, nous allons traiter plus directement de la concrétisation de ce SIRS, en commençant par la modélisation des données et les modifications de la structure de la base amenées pour qu'elle permette d'intégrer les remarques précédentes, puis en présentant le développement du système et finalement son exploitation.

## 9.5 Modélisation, adaptation, programmation

### - 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> étapes

Nous avons décidé de combiner ces deux étapes car le modèle logique de données avait déjà été réalisé (nous l'avons d'ailleurs présenté dans le chapitre 8.4.2) et nous ne l'avons donc que modifié suivant les réflexions faites au cours des étapes précédentes. Cette analyse nous a permis de faire une critique de la base de données prévue, et ainsi, de pouvoir l'adapter aux données et à certains des traitements souhaités. Une base bien construite est en effet essentielle, car c'est elle qui conditionne la qualité et la facilité d'exploitation des données. Notons que ce modèle résulte d'une « **approche par les données** », qui consiste à mettre l'accent sur la modélisation de ces dernières et non sur celle des traitements. Comme nous l'avons mentionné précédemment<sup>38</sup>, c'est une approche adaptée aux SIRS de gestion ou de communication et non d'aide à la décision. Elle se justifie dans un tel cas car les limitations imposées par la disponibilité des données sont importantes et les possibilités d'effectuer des traitements amenant une aide à la décision restreintes. Nous allons donc présenter les modifications de la structure et du contenu de la base de données, discutées également avec M. A. Cerruti, collaborateur du bureau responsable du suivi du projet SIRS-Avalanches, qui a ensuite concrétisé pratiquement ces changements. Les modifications amenées par ces réflexions sont présentées en majuscule dans le deuxième modèle logique de données, situé en annexe 4.

- Nous avons ajouté trois attributs à la **table Ouvrages**, pour permettre premièrement, l'intégration, initialement non prévue, du type de fournisseurs des divers ouvrages (Von Roll, Alusuisse, etc.). Cette information pourrait être utile par la suite, combinée avec les données sur les dégâts : elle permettrait une comparaison de qualité entre les divers types. Les deux autres attributs permettent l'intégration de deux coordonnées par ouvrage, et

---

<sup>38</sup> Se référer au chapitre 5.3, paragraphe 3, « Modélisation et expérimentation ».

ainsi une distinction entre ouvrages d'un projet grâce à une localisation précise de chacun d'entre eux.

- Une nouvelle table a été créée pour introduire les **données sur les reboisements**, qui étaient auparavant gérées conjointement avec les autres types d'ouvrages. Or, ces deux types de mesures ne sont pas du tout semblables : toutes deux des mesures actives, mais les unes techniques et les autres naturelles. Elles sont par conséquent définies par des attributs différents, un reboisement comportant des indications sur le nombre de plants (total et par hectare) et une évaluation différente de sa réussite.
- La base de données originelle n'intégrait les informations concernant **l'exposition du projet** que sous forme de code, il nous a donc semblé primordial de pouvoir faire des requêtes en intégrant non pas un code, mais une description textuelle du type d'exposition : la table « Type\_Expositions\_Réalisations » a donc été créée.
- Notons l'ajout des relations concernant les **données spatiales des cartes de danger**, qui ne sont encore pas encore liées de manière précise avec la table Avalanches, les couloirs d'avalanches ayant été définis plus précisément dans le cadre de la digitalisation des cartes de danger. A relever que les données attributaires sur les réalisations sont également reliées aux anciens numéros d'avalanches ; l'adaptation se fera prochainement.
- Deux attributs, Coût\_unitaire et Coût\_Total, ont été intégrés dans la relation « Objets\_concernés » pour permettre l'introduction d'une première estimation de la **valeur des objets concernés** par chaque projet, en attendant l'adoption d'une méthode.
- La relation contenant les **informations sur les communes** (nom, arrondissement, district), était précédemment uniquement liée à la table Avalanches. Ainsi, lorsque des requêtes étaient réalisées sous Access pour extraire des statistiques telles que le coût total des réalisations par commune, le résultat se voyait totalement faussé : premièrement, seules les réalisations liées à une avalanche étaient prises en compte, alors que certains projets de défense ne concernent que des glissements ou des chutes de pierres. Deuxièmement, une réalisation pouvait être comptabilisée plusieurs fois, lorsqu'elle se rapportait à plusieurs avalanches et qu'une commune était elle-même touchée par plusieurs avalanches (ce qui est généralement le cas). Nous avons donc jugé nécessaire d'intégrer une information sur les communes au niveau de la table Réalisations afin d'éliminer ce biais, même si ces données dupliquées sont redondantes. Un tel problème ne se pose pas au niveau du SIRS, celui-ci définissant les relations spatiales avec exactitude ; cependant, il est tout de même nécessaire de pouvoir extraire des statistiques correctes sur les communes à partir de la base de données Access.

Les modifications les plus importantes sont celles liées à la décision de permettre une gestion de l'historique, et ainsi un suivi des réalisations. Afin d'introduire cet aspect temporel, plusieurs ajouts ont été nécessaires :



- une **relation « Entretien »** a été créée, comprenant des informations sur la cause, la date et l'importance des dégâts ainsi que sur les mesures prises par la suite (assainissement, suppression) et leur coût. Ces questions d'entretien n'ont pas pu être directement intégrées à la relation « Ouvrages », une réalisation pouvant être concernée par plusieurs dégâts et plusieurs travaux d'entretien. Un identifiant pour chaque ouvrage a donc été ajouté ;
- une table pour préciser les aspects relatifs à **l'entretien des reboisements** a été ajoutée, précisant les problèmes ayant pu survenir au cours de ces projets sylvicoles (maladie, avalanches, érosion, etc.), la date à laquelle ces dégâts ont été observés ainsi que la quantité de plants supprimés et replantés ;
- une **relation supplémentaire, « Rénovations »**, a dû être ajoutée afin de préciser les aspects financiers et différencier les coûts de construction (devis de base) de ceux liés à l'entretien des ouvrages. Elle permet d'introduire les aspects relatifs à la date et au devis des rénovations : nous nous sommes en effet rendue compte que les fonds utilisés pour l'entretien d'une réalisation pouvaient provenir d'un autre projet présentant un disponible de budget. Cette table permet d'introduire l'identifiant du projet (Id\_Réalisations) à la source du financement, et par conséquent, de retracer les déplacements budgétaires. Il sera par conséquent possible de connaître le coût total d'une rénovation, et de savoir également quel montant de chaque projet a été alloué à des questions d'entretien. Jusqu'à maintenant, ces précisions d'allocation de fonds n'étaient intégrées que dans la page « remarques » de chaque réalisation : il était de fait impossible de retracer ces aspects ;
- comme des ouvrages peuvent être redimensionnés, complétés ou supprimés, un booléen (oui/non) sur **« l'état » de l'ouvrage** a été introduit, afin de pouvoir déterminer les caractéristiques précises du périmètre actuel en fonction. Par exemple, nous avons remarqué que des digues étaient parfois rehaussées dans le cadre de nouveaux projets : l'ancienne digue doit par conséquent être notée comme n'étant plus en état. L'intégration d'une date d'échéance est indispensable pour pouvoir retracer l'historique ;
- la possibilité d'intégrer de pareilles indications sur l'état actuel et la date d'échéance à partir de laquelle l'information n'est plus actuelle a également été rendue possible en ce qui concerne les zones de conflits et les caractéristiques des couloirs d'avalanche, qui peuvent toutes deux changer avec la construction d'ouvrages. Un booléen et une page « date » ont été ajoutés aux tables « Conflits » et « Zones ». La structure de la version originelle de la base permettait déjà d'introduire ces changements car des tables spécifiques avaient été créées, mais il manquait néanmoins la possibilité d'introduire l'aspect temporel, et ainsi, de connaître la donnée actuelle ;
- comme il était nécessaire de résoudre les problèmes de confusion entre « objets menacés/protégés », nous avons donné la possibilité de préciser les **objets concernés** avant et après la construction des ouvrages, toujours en fonction des différentes zones de danger, en ajoutant l'attribut « Type » (avant/après) et « ID\_catégorie » (menacé/protégé). Le booléen

« Import\_2000 » indique si les données entrées dans la base correspondent à cette nouvelle définition des entités territoriales (date à adapter selon l'année d'adoption de cette nouvelle acquisition des données).

C'est au cours de cette phase de la conception que l'interface utilisateur (« homme-machine ») a commencé à être modifié et précisé. Le bureau d'ingénieurs l'avait déjà préparé en réalisant le prototype, mais l'a passablement modifié au cours de cette étape et des phases successives de conception du SIRS, afin qu'il s'adapte le mieux possible aux besoins des futurs intéressés. Notons la création :

- de formulaires, qui facilitent la saisie des données grâce à des listes déroulantes de possibilités et rendent la visualisation et recherche des données plus aisée en permettant une « mise en page » des données et la création d'onglets ;
- d'états, qui regroupent les enregistrements pour permettre leur édition sous forme papier ;
- d'une série de requêtes types, pouvant être lancées directement par un « bouton » créé pour faciliter l'extraction des données demandées fréquemment.

## 9.6 5<sup>ème</sup> étape : développement

Nous ne présenterons que l'étape d'acquisition des données, les aspects techniques relatifs à l'installation du système dans l'organisation se situant hors du contexte de notre étude. Ceux-ci seront réglés tout prochainement par le bureau privé mandaté.

L'acquisition des données de l'inventaire des ouvrages sous Access a nécessité de nombreux pré-traitements, celles-ci étant irrécupérables dans leur format original. Comme les fiches de ce cadastre étaient organisées en classeurs dans une ancienne version d'Excel (3.0), nous avons donc dû commencer par les enregistrer toutes séparément et dans une version plus récente. Ce travail fastidieux nous a néanmoins permis d'observer non seulement la structuration de ces données dans Excel, ce qui s'est avéré utile pour la création du programme de transfert, mais également les données elles-mêmes (contenu et qualité). Un certain nombre de problèmes ont ainsi été mis en évidence, lesquels ont amené des modifications de la base de données Access. Les « remarques » contenues dans l'inventaire ont aussi nécessité une mise en forme.

Un programme d'échange a ensuite été créé par M. Y. Vollet, responsable du bureau mandaté, pour permettre le transfert des données d'Excel à Access. Ce programme a nécessité plusieurs corrections avant de rendre possible la prise en compte de toutes les informations. En effet, les nombreuses phases de validation nécessitées après chaque transfert et réalisées premièrement par le bureau puis par nous, ont à chaque fois révélé des problèmes d'échange : données qui

n'avaient pas été prises en compte, intervertissement des codes associés aux informations, emplacement des données dans Excel pas toujours identique, etc.

La création de la couche d'information spatiale ponctuelle sur les projets (« thème de localisation ») a ensuite mis en évidence un certain nombre d'erreurs quant aux coordonnées, dont certaines se trouvaient « hors Suisse » ; ceci a par conséquent nécessité la recherche des informations relatives à ces réalisations. Notons également que de nombreux points représentant les projets ne se situent dans aucun couloir d'avalanche, ce qui témoigne d'une imprécision dans la plupart des cas, les réalisations non liées à une avalanche étant peu fréquentes. Nous n'avons néanmoins pas pu vérifier toutes les coordonnées.

L'acquisition des données n'a ainsi pas été simple et a constitué un travail conséquent et fastidieux. Ces contrôles itératifs ont néanmoins permis d'améliorer encore la structure de la base de données, et surtout de vérifier sa cohérence et son contenu. Plusieurs « boucles de conception » ont de fait été à nouveau effectuées, des modifications du modèle logique de données ayant été amenées durant cette phase de mise en place du SIRS. Une démarche itérative semble essentielle pour permettre la conception d'une base de données bien faite et cohérente. Une rigueur est ainsi de mise dans ce travail et dans les contrôles qualitatifs nécessaires. Nous allons passer outre les questions techniques de l'installation du système et présenter un premier éventail des possibilités d'exploitation de ce système d'information au cours du chapitre suivant.

## **9.7 Maintenance et exploitation: premiers résultats - 6<sup>ème</sup> étape**

Lors de nos premiers essais d'exploitation, nous avons à nouveau mis en évidence certains problèmes de structure des données, passés inaperçus jusqu'alors, et qui donnaient des résultats faussés. De nouvelles corrections ont ainsi été amenées encore pendant cette dernière étape. Pour présenter les aspects relatifs à l'exploitation de la partie « Réalisations » du SIRS Avalanches, nous allons reprendre les fonctions principales de ces systèmes, en mettant néanmoins l'accent sur l'aspect purement « exploitation » des données, et ainsi sur la production d'informations. Les fonctions d'édition des SIRS seront présentées conjointement avec celles liées à l'exploitation du système, grâce à l'extraction d'informations sous forme de cartes, graphiques et tableaux.

### **9.7.1 Maintenance - fonctions de saisie et de mise à jour**

L'acquisition des données et leur actualisation sont essentielles pour permettre la maintenance du système, et pour qu'il soit et reste exploitable. Il faudrait surtout donner des nouvelles directives pour la saisie des données futures, par exemple en exigeant la mention des coordonnées précises de chaque périmètre différent d'ouvrages, ainsi que les informations y relatives (type, quantité, dimensions). Lors de la saisie de ces données dans Access, il sera nécessaire de faire attention à

leur cohérence ; par exemple, lors du redimensionnement d'un ouvrage dans le cadre d'un nouveau projet, il faudra aller modifier l'attribut « état » de celui originel. Il sera néanmoins facile d'accéder à cette ancienne fiche de par une localisation identique des deux ouvrages. Mis à part cette attention devant être donnée aux aspects de cohérence, l'acquisition et la mise à jour des données seront facilitées : les listes déroulantes permettent de saisir rapidement les données et évitent les fautes d'orthographe ; des formats standards (pour les dates par exemple) peuvent être définis, et des contraintes mises en place pour obliger l'intégration de certaines valeurs. La cohérence de l'ensemble de la base peut ainsi être contrôlée. Une mise en réseau du système permettra aux divers responsables (ingénieurs forestiers et communes à plus long terme) d'introduire et actualiser ces informations directement. La mise à jour pourra ainsi se faire plus régulièrement et les services de l'administration valaisanne se verront déchargés de ces aspects difficiles à gérer.

### 9.7.2 Exploitation - gestion, production, édition

Les SIRS, combinés avec des SGBD permettent d'améliorer notablement la gestion des données spatiales et attributaires. L'extraction facilitée des données sera démontrée au travers des divers documents produits, qui résultent d'une sélection de données selon des critères spatiaux et thématiques. Avant de proposer un éventail des premiers résultats pouvant être extraits du « SIRS Réalisations », il est important d'attirer à nouveau l'attention sur les questions de qualité et de fiabilité des données. Nous avons exposé les divers problèmes relatifs à ces aspects au cours des étapes précédentes, mais n'avons pu les corriger pour des raisons évidentes (lourdeur de la tâche, que ce soit pour la recherche ou la saisie de nouvelles données). Comme les données ont été utilisées dans leur état actuel, il faut ainsi tenir compte de ces biais en consultant les résultats obtenus. Nous mettrons en évidence certains des problèmes par la suite. Notons également que nous avons dû réaliser les cartes à partir d'une base de données encore provisoire, les dernières corrections nécessaires n'ayant pas encore été effectuées. A noter que nous n'avons pris en considération que les projets entrepris dans le Valais romand en tant qu'échantillon « test ». Les données du Haut Valais n'ayant pas encore été intégrées dans la base de données, elles n'étaient de fait pas disponibles.

Nous allons présenter les traitements et produits réalisés en reprenant les questions principales posées au cours de cette étude : premièrement, ceux qui s'orientent plus vers un objectif d'aide à la décision et deuxièmement ceux facilitant la gestion des projets. Cet ordre se justifie par le fait que les premiers sont les plus importants pour le responsable des dangers naturels et sont de plus ceux qui utilisent au plus les potentialités des SIRS. Nous présenterons les cartes conjointement aux explications sur les opérations effectuées pour leur création.

#### Produits et traitements permettant une aide à la décision

Bien que les données graphiques sur les ouvrages de défense se limitent à un seul point dans l'espace, plusieurs traitements les intégrant paraissent utiles pour aider le responsable des dangers naturels à cibler, non seulement les régions nécessitant la mise en œuvre de mesures, mais également les projets à privilégier.

Nous présenterons en premier lieu les produits qui offrent une évaluation générale du risque dû aux avalanches : nous déterminerons ainsi à titre d'exemple les déficits de protection sur les routes cantonales et les zones d'habitat. Finalement, la question de l'évaluation des projets sera abordée. Ce chapitre sera principalement orienté sur les aspects liés à des traitements d'analyse spatiale.

### *Evaluation générale du risque dû aux avalanches sur les routes cantonales*

Comme exemple de traitement possible permettant de déterminer la situation de risque sur les voies de communication, nous allons considérer les routes cantonales. Elles sont en effet de grande importance et mis à part les dessertes forestières, sont les seules à avoir été digitalisées entièrement. Le poster sur leur situation de risque nous montre qu'il est possible non seulement de visualiser les routes cantonales touchées par les avalanches, mais également de distinguer les tronçons routiers qui sont concernés par des mesures de protection de ceux totalement menacés. Le graphique, limité aux tronçons menacés totaux supérieurs à 1 km, permet également de comparer les communes selon leur nombre de mètres de routes menacées sans aucune ou avec une certaine protection.

Ces premiers produits mettent en évidence plusieurs des fonctionnalités offertes par le SIRS Réalisation. En premier lieu, on voit qu'une **analyse spatiale** est possible entre les données graphiques sur les réalisations, celles du SIRS Avalanches, et des données territoriales. Il a été possible d'extraire les tronçons routiers situés à l'intérieur d'un périmètre d'avalanche avec et sans réalisations. La production de cette information résulte d'une série de traitements effectués au moyen d'opérateurs spatiaux topologiques :

- il a fallu sélectionner les avalanches concernées par des ouvrages de protection, lesquels réduisent la probabilité d'occurrence de dommages. Pour ce faire, nous avons décidé de prendre en compte les avalanches situées dans un périmètre de 100 mètres d'une réalisation, afin de contrer une partie des imprécisions relatives à l'emplacement des projets (coordonnées peu précises). Ce chiffre est en effet apparu relativement pertinent après plusieurs tests. Nous avons donc effectué une sélection par thème par un opérateur topologique, selon une relation spatiale de voisinage. En inversant la sélection, on ne considère ainsi que les avalanches sans réalisations.
- le logiciel ArcView permet ensuite une production d'information en combinant plusieurs thèmes grâce des fonctions de « géotraitement ». On a ainsi pu procéder au découpage des « routes cantonales » selon les « avalanches ». Deux nouveaux thèmes linéaires ont été créés : les tronçons routiers situés à l'intérieur des périmètres d'avalanches concernées et non concernées par des réalisations. Comme ArcView offre la possibilité de recalculer ces tronçons (au moyen d'un script, fourni par A. Cerruti), on peut ainsi déterminer le nombre de mètres menacés par des avalanches par commune. Cette information, extraite sous forme de tableau, a été présentée au moyen d'un histogramme dans le poster.



Ces deux nouvelles couches d'information (routes cantonales menacées / « protégées ») offrent ainsi une appréciation globale du risque. On peut constater que les communes de Bagnes et d'Evolène sont les plus concernées avec respectivement plus de 20 et 16 km de routes en zone à risque. Nous avons d'ailleurs vu que les Vals d'Entremont et d'Hérens avaient été fortement touchés par les avalanches en 1999.

En deuxième lieu, les SIRS permettent aussi de combiner et **visualiser plusieurs couches d'information**, et ce, à des niveaux de précision différents. Il est en effet possible de jouer sur l'échelle à l'infini. La carte générale du Valais romand ne donne qu'une vision rapide et globale des routes cantonales menacées par les avalanches : elle n'est donc qu'une première étape et permet de cibler les régions sur lesquelles zoomer par la suite. Il faut tout de même être conscient que la qualité de représentation diminue fortement lorsque la vue s'éloigne trop de l'échelle de digitalisation. Notons également la possibilité de superposer des données image à ces données vectorielles : l'intégration du fonds carte topographique permettant ici d'offrir une vision des caractéristiques (territoriales, morphologiques) de la zone nécessitant d'être étudiée plus précisément. Cette carte à grande échelle montre relativement bien les conflits entre les avalanches et les axes routiers. Il est toutefois indispensable de garder en tête qu'une avalanche peut déborder du périmètre de danger défini : il ne faut donc pas considérer les limites données par la carte comme fixes.

### Restrictions

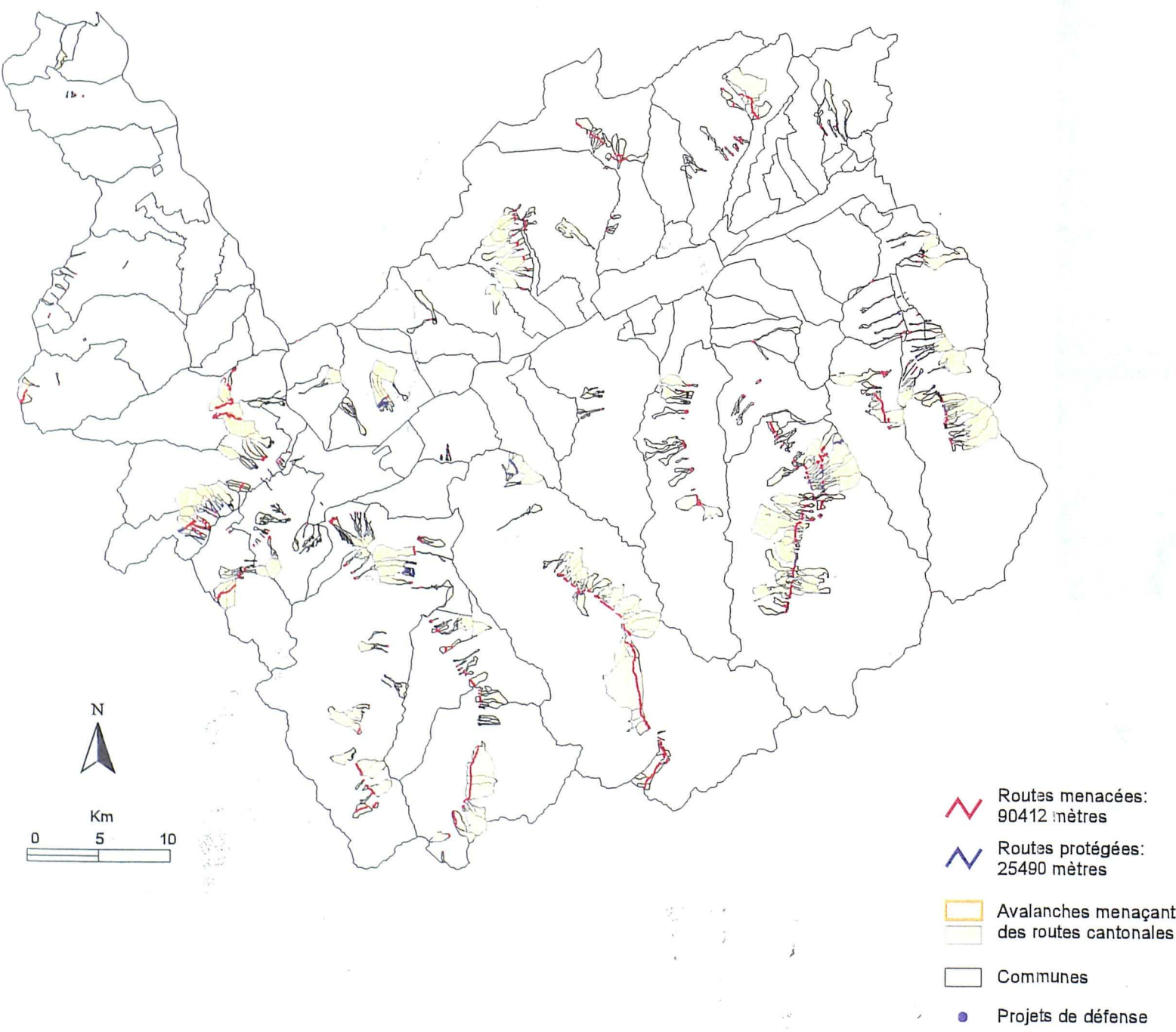
A noter toutefois le biais important quant à la précision des données de localisation des projets, qui est visible en observant simultanément la carte des avalanches et le thème de localisation des ouvrages. On note en effet que de nombreux « points » se situent en dehors de tout couloir, souvent à une distance relativement élevée. Cette imprécision des données rend cette évaluation ainsi que celles réalisées par la suite « incomplètes ». Elles doivent donc être considérées surtout comme une présentation des possibilités de traitement. La carte à grande échelle met en évidence ces limites d'exploitation imposées par la qualité des données : la réalisation située au point 588.000/101.000 est mal placée : en accédant à ses données attributaires, on voit qu'il s'agit du dernier projet en date pour la « Digue de Lourtier » : une digue de déviation n'aurait aucun sens en zone de décrochement où, de plus, il n'y a pas d'habitations. Par conséquent, il s'agit manifestement d'une erreur de saisie qu'il y a lieu de corriger. Les nouvelles coordonnées devraient être identiques à celles de l'ancien projet de la digue de Lourtier, auquel on devrait introduire l'indication « n'est plus en état » dans la base de données Access. On ne visualiserait ainsi que le dernier projet, tout en gardant l'historique.

Le thème « routes protégées » ne présente donc pas tous les tronçons situés dans des couloirs où des mesures ont été réalisées. Ils ne sont pas non plus à l'abri du risque, car ces réalisations n'offrent pas forcément une protection de la route, et ne sont généralement pas des projets de galeries. Ce sont donc des tronçons caractérisés par un « risque réduit », et ce, pour autant que la réalisation se rapporte au couloir correct. Ces données peu précises quant aux réalisations n'offrent donc qu'une information passablement grossière qui ne suffirait pas pour aider à gérer les situations d'urgence.

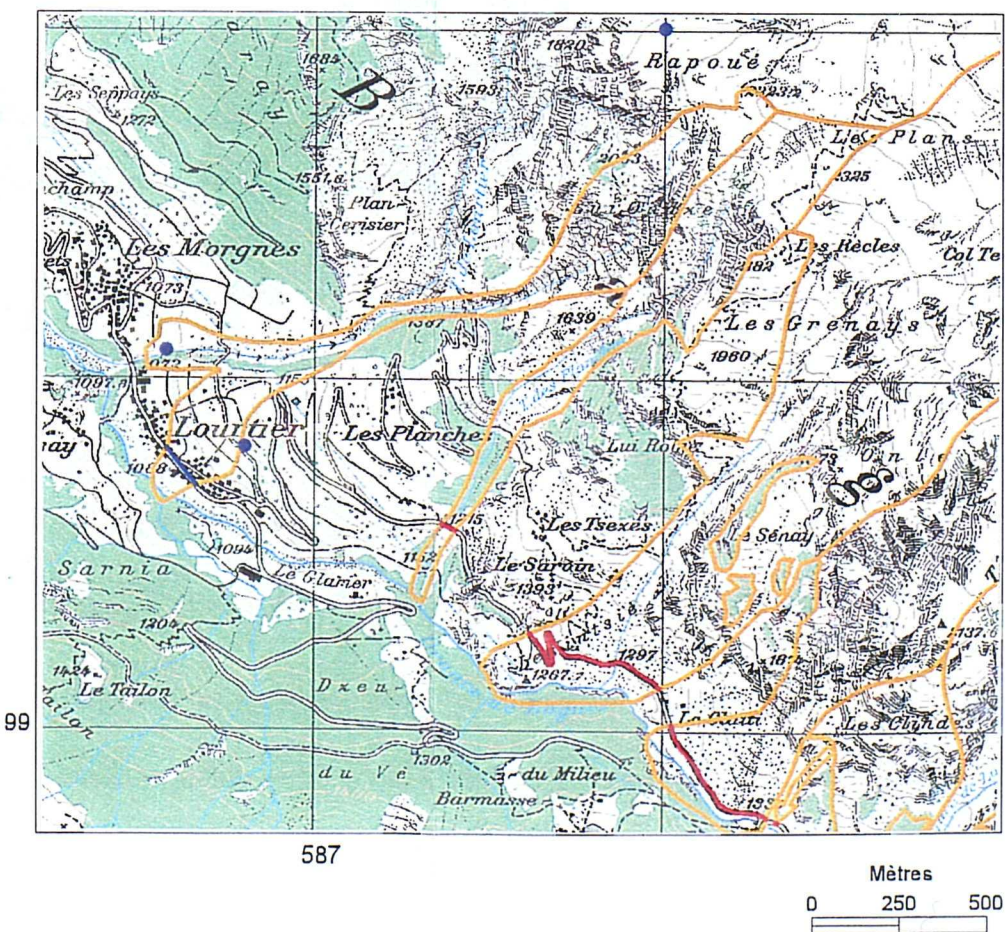
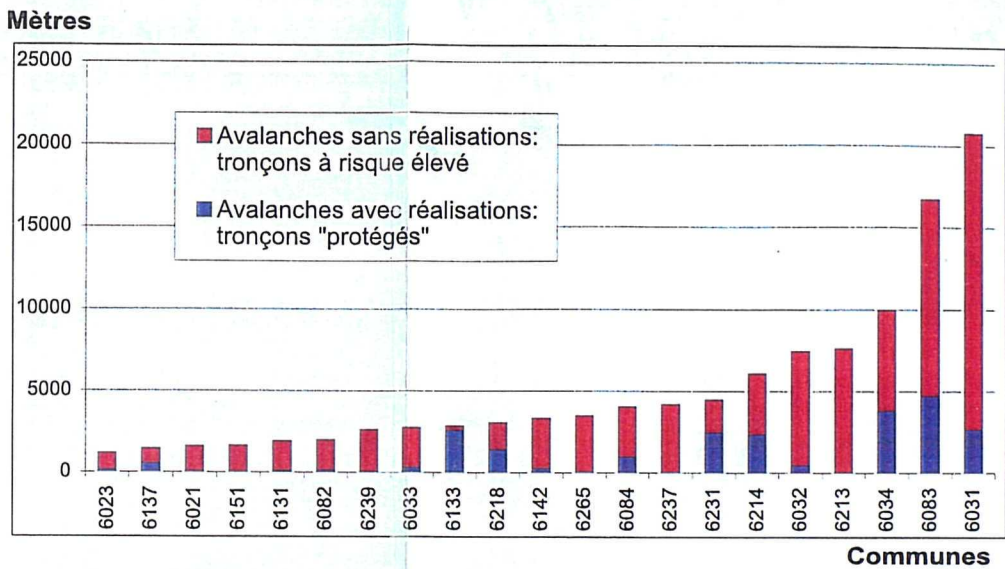


# Valais romand – routes cantonales

## Evaluation générale des déficits de protection



**Routes cantonales en conflit avec des périmètres d'avalanches**  
Extrait: communes dont le total des tronçons est supérieur à 1 km



étonnant : rappelons que les axes routiers valaisans sont ceux qui ont été le plus touchés en Suisse au cours de l'hiver 1998-99.

La carte des routes menacées met bien en évidence ces nombreux conflits et justifie la prise de mesures dans ce domaine. Il nous semble essentiel de disposer de tels pourcentages pour l'ensemble du canton, afin de pouvoir déterminer les communes les plus touchées et ainsi les privilégier pour l'allocation de subventions. Nous conseillons par conséquent la mise en place d'un tel traitement automatisé, qui serait un outil d'aide à la décision ou du moins, une bonne appréciation de la situation de risque sur les axes routiers. La qualité des données devrait néanmoins être améliorée pour que ce traitement constitue un support de décision fiable. Malgré ces restrictions, on a pu démontrer qu'il est possible de produire de l'information en combinant le thème de localisation des réalisations avec d'autres couches d'information et effectuant des opérations sur les relations spatiales entre les éléments territoriaux (distance, intersection, inclusion, etc.).



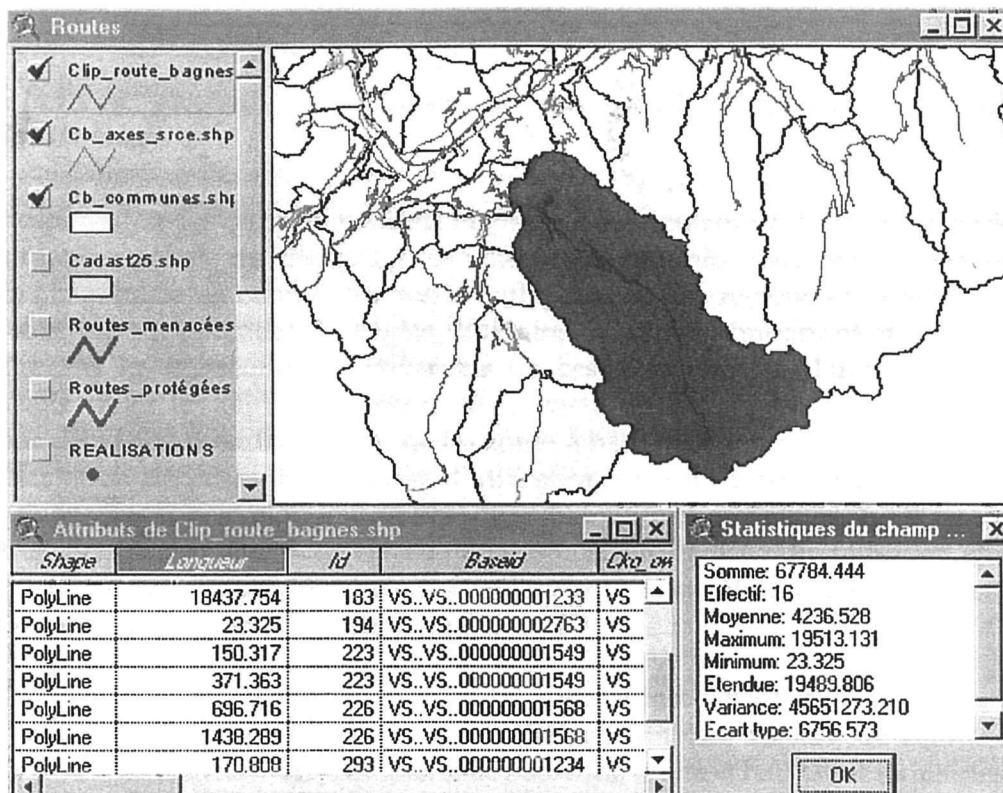


Fig. 9 : Production d'information au moyen d'opérateurs topologiques (relation spatiale d'intersection et inclusion).

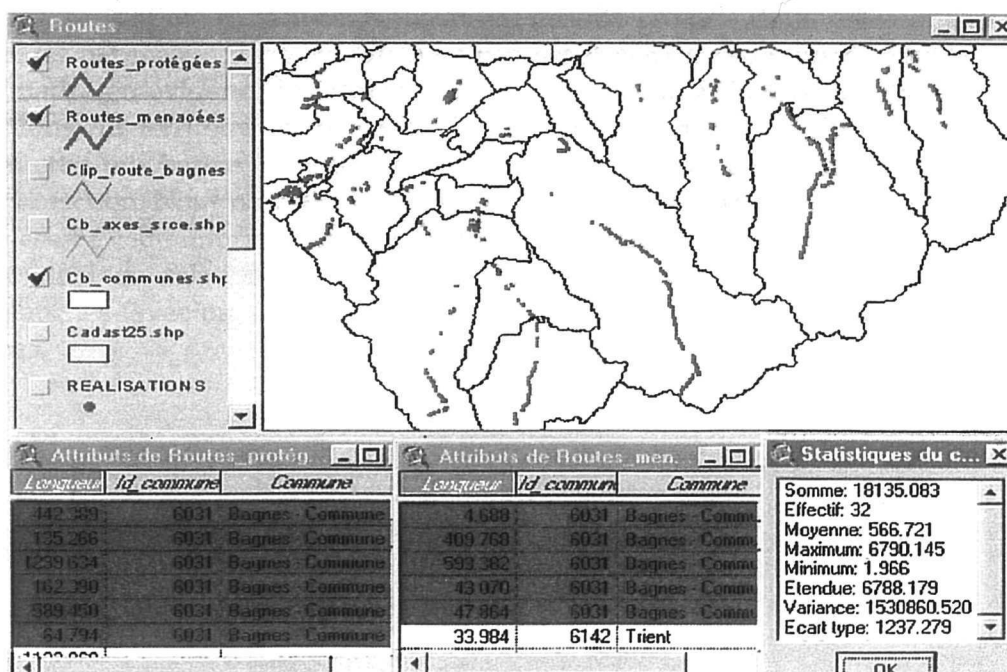


Fig. 10 : Sélection d'informations spatiales et thématiques au moyen d'opérateurs topologiques (inclusion).

étonnant : rappelons que les axes routiers valaisans sont ceux qui ont été le plus touchés en Suisse au cours de l'hiver 1998-99.

La carte des routes menacées met bien en évidence ces nombreux conflits et justifie la prise de mesures dans ce domaine. Il nous semble essentiel de disposer de tels pourcentages pour l'ensemble du canton, afin de pouvoir déterminer les communes les plus touchées et ainsi les privilégier pour l'allocation de subventions. Nous conseillons par conséquent la mise en place d'un tel traitement automatisé, qui serait un outil d'aide à la décision ou du moins, une bonne appréciation de la situation de risque sur les axes routiers. La qualité des données devrait néanmoins être améliorée pour que ce traitement constitue un support de décision fiable. Malgré ces restrictions, on a pu démontrer qu'il est possible de produire de l'information en combinant le thème de localisation des réalisations avec d'autres couches d'information et effectuant des opérations sur les relations spatiales entre les éléments territoriaux (distance, intersection, inclusion, etc.).



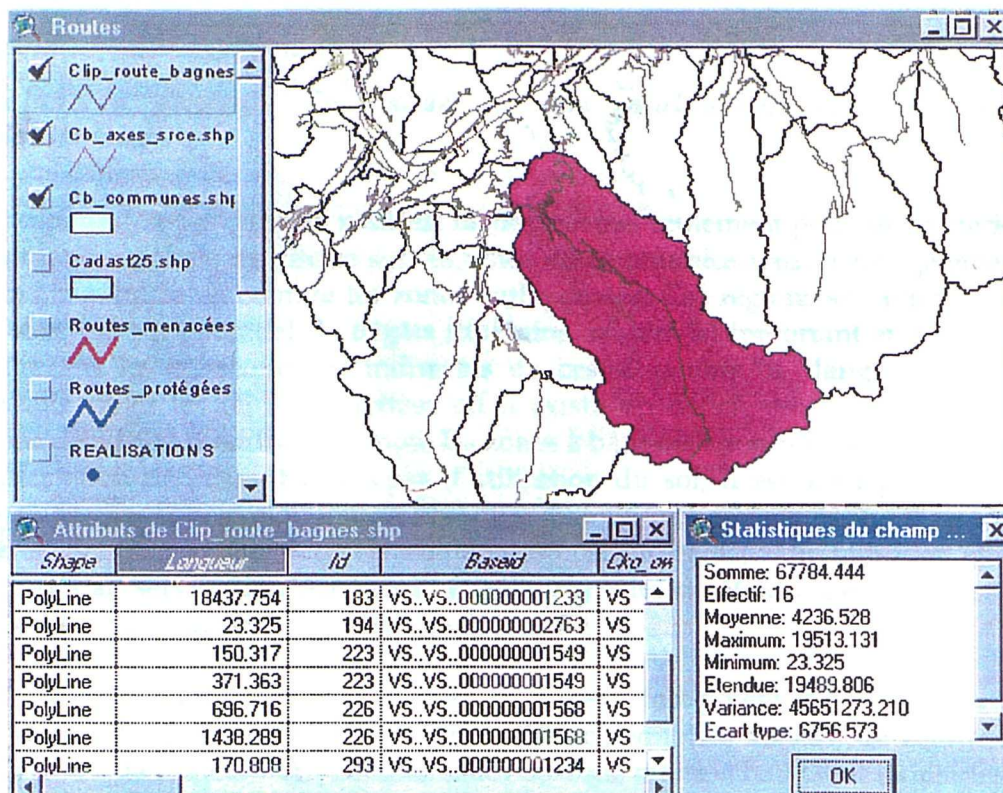


Fig. 9 : Production d'information au moyen d'opérateurs topologiques (relation spatiale d'intersection et inclusion).

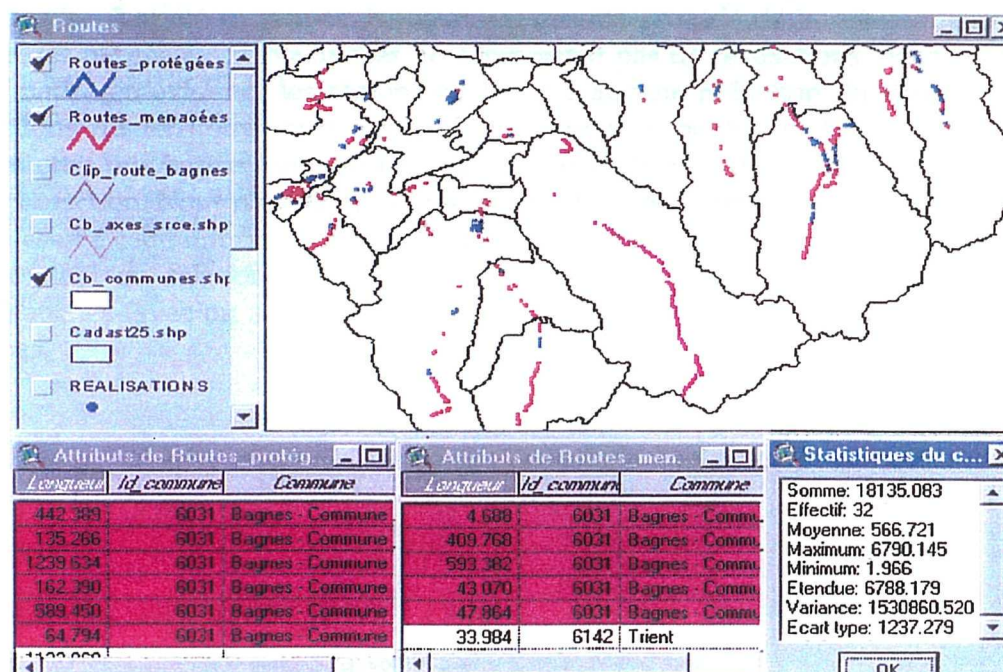


Fig. 10 : Sélection d'informations spatiales et thématiques au moyen d'opérateurs topologiques (inclusion).



### *Evaluation générale du risque dû aux avalanches sur les zones d'habitation*

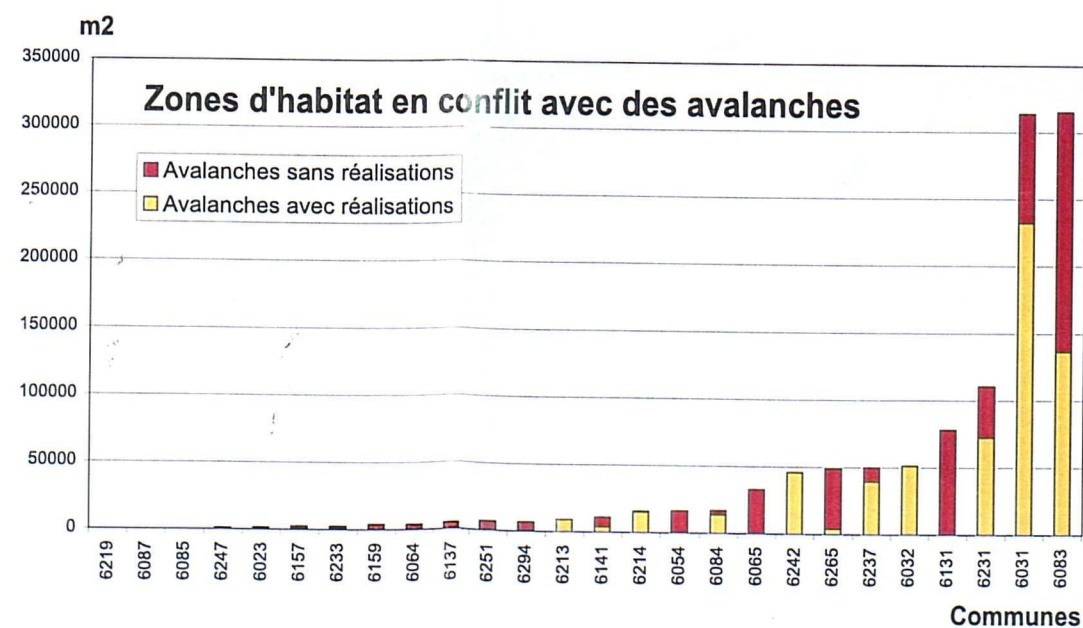
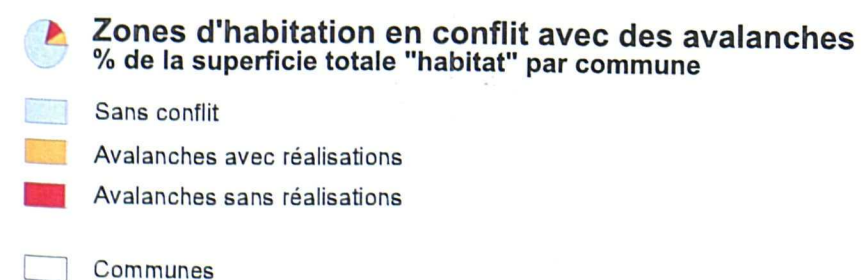
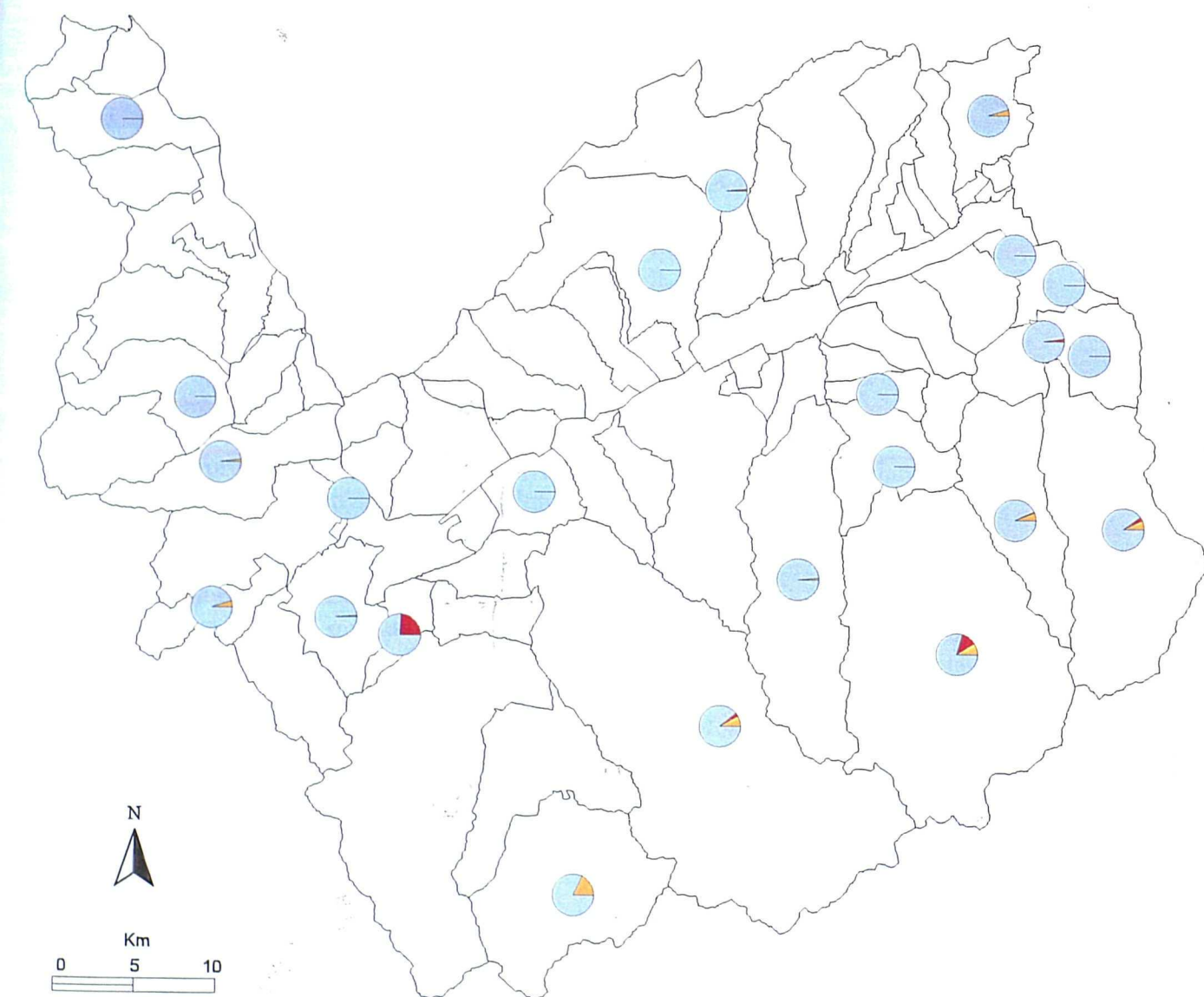
Le responsable des dangers naturels ne devrait pas seulement pouvoir apprécier la situation globale du risque sur les voies de communications, mais également pouvoir prendre en compte les zones anthropisées. Ces régions se caractérisent en effet par un potentiel de dégâts (humains, matériels) important et subissent également les conséquences indirectes de ces situations de danger. Afin de pouvoir cibler les régions habitées où il existe un déficit de protection, nous avons décidé de prendre en compte les zones à bâtir ou « zones PAZ ». Ces plans d'affectation définissant des types d'utilisation du sol, il est ainsi possible de considérer les zones selon leur importance. A noter que ces informations ne sont pas encore disponibles pour l'ensemble des communes, leur digitalisation étant en cours au service de l'Aménagement du territoire du Valais. Ce traitement a ainsi été réalisé sur un échantillon de données.

Comme nous voulions vraiment cibler les zones à fort potentiel de risque, nous avons décidé de considérer trois types d'affectation : les zones « de centre de village », « de chalets » et « commerciales ou zone mixte d'habitat et industries » (types 10, 11, 12). Ils constituent en effet les régions les plus fortement anthropisées. Nous avons donc commencé par extraire cette information grâce à une requête thématique et en avons fait un thème supplémentaire. Une opération de recoupement spatial entre celui-ci et le cadastre des avalanches a ensuite amené la création d'une deuxième couche d'information : les portions de zones d'habitat situées à l'intérieur d'un périmètre d'avalanches. Leurs surfaces et périmètres ont été recalculés. Nous avons ensuite procédé de la même manière avec les périmètres d'avalanches ne comportant pas de réalisations, dans le but de mettre en évidence les régions où il n'y a aucune réduction du risque. Les portions du territoire mises en évidence sont trop petites et dispersées pour permettre une bonne visualisation sur une carte générale de ces zones de déficit de protection. Nous n'avons donc pas exposé de carte à petite échelle, mais avons représenté cette information sous forme de symbole ponctuel par commune. On met ainsi en relation la proportion de zone d'habitat en conflit avec des avalanches (avec ou sans réalisations) par rapport à la superficie totale de ces zones.

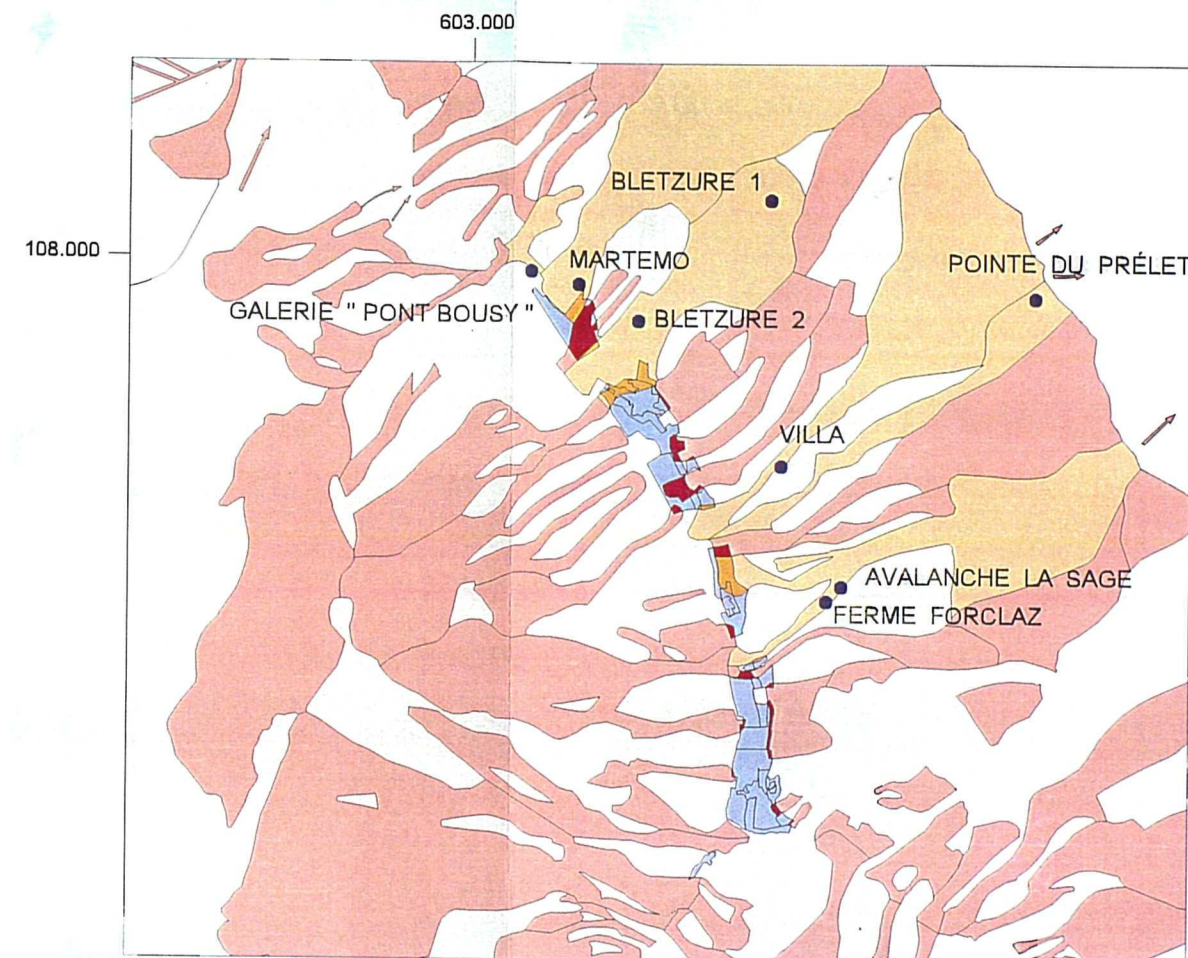


# Valais romand – zones d'habitation

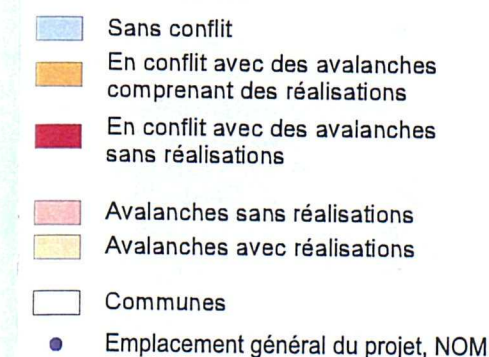
## Evaluation générale des déficits de protection



### Commune d'Evolène



### Périmètres des zones d'affectation "habitat":





### *Situation globale de risque : combinaison des déficits de protection sur les routes cantonales et zones d'habitat*

Nous venons de proposer deux manières d'évaluer la situation de risque des routes cantonales et des zones d'habitat. On peut néanmoins encore cibler ces régions de déficit de protection en combinant ces deux informations. Les SIRS permettent en effet une analyse sur plusieurs thèmes : nous avons donc pu extraire toutes les avalanches non concernées par un projet de défense qui touchent des zones d'habitat et des tronçons routiers. La copie d'écran suivante présente cette sélection (couleur rose foncé).

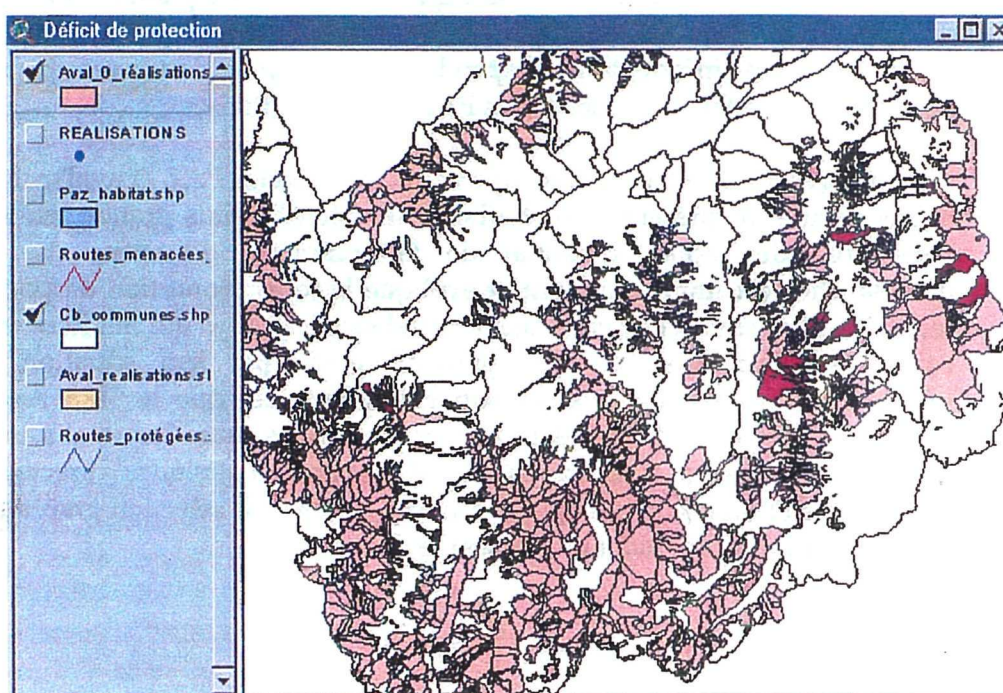


Fig. 11 : Sélection d'informations par recoupement de plusieurs thèmes graphiques (requête spatiale par opérateurs topologiques et booléens)

Les caractéristiques de ces avalanches sont aussi mises en évidence et peuvent être facilement extraites de la base de données Access. Leur consultation permet ainsi de préciser la situation de danger, ces informations attributaires sur les avalanches et leurs événements nécessitant toutefois d'être plus complètes.

A noter tout de même qu'une telle évaluation des zones de déficit de protection est très globale. Il serait peut-être nécessaire d'effectuer cette analyse non pas selon une intersection entre couches, mais en prenant en compte une zone plus large que celle de l'avalanche (en créant des zones tampons ou simplement en prenant un critère de « distance à »), afin d'éliminer quelque peu les imprécisions possibles quant à la digitalisation des diverses couches d'information spatiale.

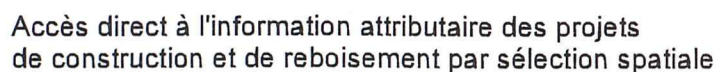


### *Evaluation de projets de défense*

Il est actuellement impossible de déterminer le potentiel de dégât précisément avec un SIRS. En effet, les zones bâties saisies n'intègrent pas encore d'informations thématiques précisant leur « valeur » (nombre et type de bâtiments, densité de population, etc.). Lorsque ces données seront disponibles, les responsables de la prévention pourront mieux cibler les zones de conflits importants et évaluer les projets de défense. Notons qu'il restera néanmoins impossible de considérer la zone de protection de l'ouvrage. Pour leur appréciation, il faudra ainsi se limiter aux informations données par le cadastre des avalanches et la carte des dangers. Il est ainsi difficile d'offrir une vision générale des objets « protégés » par les réalisations dans le cadre de cette étude. De plus, l'imprécision des coordonnées des projets ne nous permet pas de les lier exactement à leurs avalanches respectives, un lien au travers d'Access posant également problème vu que les numéros des couloirs ont été modifiés (digitalisation plus précise). Une évaluation des projets de défense ne peut se faire actuellement qu'au moyen des traitements exposés jusqu'à ce point. Nous allons donc juste les appliquer à grande échelle, et pourrons par la même occasion justifier la gestion d'un historique des données ainsi que l'utilité d'une digitalisation par type d'ouvrage.

Pour cet exemple, nous avons décidé d'observer la commune de Bourg-St-Pierre. Elle comporte en effet plusieurs réalisations et des zones bâties comprises dans les périmètres des avalanches. Nous avons considéré le périmètre des trois avalanches, en supposant qu'elles sont toutes plus ou moins concernées par les divers projets, et repris les mêmes informations territoriales que précédemment, en considérant cette fois l'ensemble des zones PAZ. Grâce à deux opérations de géotraitement (découpage d'un thème en fonction d'un autre), on obtient le nombre exact de mètres de routes cantonales et de m<sup>2</sup> de zones à bâtir se trouvant dans le périmètre des trois avalanches concernées par des réalisations, soit 432.884 m et 53'712 m<sup>2</sup> respectivement. La table d'attributs sur les zones PAZ donne des informations utiles pour une évaluation du projet de défense, particulièrement celles sur le type d'affectation. Dans ce cas étudié, ce sont principalement des zones de « centre de village », « de chalets » et « commerciales » (types 10, 11, 12, utilisés pour la réalisation de la carte sur les régions d'habitation) qui sont menacées. Les 10 % des zones restantes sont de type « intérêt général ». C'est ainsi une zone à potentiel de dégâts passablement élevé. On ne peut néanmoins pas la préciser, aucune information sur les objets du territoire n'étant disponible.





Id	Année	Nom réalisation	Devis	Surf (ha)	Type ouvrages	Type détaillé	Quant	Haut	Long	Volume (m3)	Etat
131	1967	COMBAZ - METROZ II 1e	350000	78							
139	1974	COMBAZ - METROZ II 2e	400000	10	digues en terre	déviation	2800				
150	1976	LES CERFS	260000	28							
222	2000	SORECY	150000	3							
225	2000	TORRENT DE LA CROIX	90000	75							
235	1981	COMBAZ - METROZ II 3e	680000	2	claires	métal	132	4			Bon
236	1986	COMBAZ - METROZ II 3e	1770000	2	filets		107	4			Bon
1	1956	BAS - COMBAZ I	500000	143	claires	alluminium	400	2			

Id	Année	SPR	Nom réalisation	10	11	Devis	Surface projet	Densité	Nombre plants	Type essence	Reussite	Superf
117	1967	COMBAE	METROZ II 1e	350000	78	10000	12000	1	3/3	1.2		
150	1976	LES CERFS		260000	28	4500	67500	2	3/3	15.0		
236	1986	COMBAE	METROZ II 3e	1770000	2	2600	2600	1	1/3	1.0		
3	1989	VARTSY		63000	9.5	1579	15001	2	3/3	9.5		



Des données complètes sur les événements, qui ne sont actuellement pas disponibles ou ne le sont que pour un petit échantillon de couloirs (en Haut Valais principalement), permettront de préciser l'importance de l'avalanche. Nous remarquons néanmoins que cette évaluation reste très globale de par des informations limitées. Le responsable de l'évaluation des projets ne peut ainsi avoir qu'une première vision du type d'objets en conflits et du potentiel de dégâts. A noter qu'il serait encore plus judicieux de réaliser ces traitements en prenant en compte les cartes de danger. Les diverses zones donnent en effet des indications sur le degré de danger et la périodicité de l'avalanche. Nous n'avons néanmoins pas pu réaliser un tel traitement car nous n'avions cette information spatiale que sous sa forme initiale, peu structurée et par conséquent inexploitable (elle est en cours de restructuration). Notons que pour le cas de Bourg-St-Pierre, l'utilisation des périmètres des avalanches est même conseillée, ceux-ci étant plus étendus que ceux de la carte des dangers.

Les trois « réalisations » plus ou moins alignées dans la zone de déclenchement de l'avalanche centrale concernent en un sens le même projet de défense car chacun a servi à compléter les précédents ou à réaliser une partie des travaux qui n'avaient pas été effectués. Ils constituent des projets différents pour des questions financières principalement (demande de nouvelles subventions). Le projet 138, initié en 1974, vient compléter celui de 1967 (n° 137) : il a amené la construction de claies, bermes et d'une digue de déviation en terre. Le troisième (n° 235), approuvé en 1981, a ajouté des claies et filets et le dernier (n° 236), des claies, bermes et filets en 1986. Les périmètres de construction d'ouvrages ont ainsi été étendus et de nouveaux périmètres créés. L'information sous forme de « points de projets » ne permet pas d'accéder facilement à ces informations, car elle met surtout en évidence les données administratives (nom, date, devis) et ne permet pas de suivre l'évolution des divers périmètres quant aux constructions réalisées. Des données pour chacun d'entre eux seraient utiles pour apprécier le niveau de protection.

### **Produits et traitements permettant une aide à la gestion**

Les aspects de gestion liés au stockage des données et à leur facilité d'accès et d'extraction ont déjà pu être en partie démontrés au cours de la partie précédente. Nous allons à présent préciser les apports d'un SIRS quant à l'exploitation et la représentation des informations attributaires sur les projets de défense. Nous verrons que des données thématiques très diverses peuvent être cartographiées. Celles prises en compte dans le cadre de cette étude sont de deux types :

- premièrement, celles se rapportant aux caractéristiques « physiques » des réalisations, qui décrivent en un sens le niveau de protection atteint ;
- deuxièmement, les données administratives sur le coût des projets, qui constituent l'aspect essentiel devant être géré par le responsable de leur approbation.



### *Exploitation des données sur les réalisations : mesures sylvicoles*

Nous avons décidé de nous concentrer sur les mesures sylvicoles car ce sont les seules qui présentent des informations sur la réussite des reboisements, les autres types de réalisation ne comportant pas d'indication de leur état, à quelques exceptions près. Une cartographie thématique de l'ensemble de ces mesures entreprises depuis les années 1950 dans un objectif de protection contre les avalanches et autres dangers naturels (glissements) permet d'offrir une vision générale de l'importance de ces projets pour les diverses régions. Leur représentation selon le nombre d'hectares reboisés met en évidence de profonds contrastes entre les communes du Valais romand. La plupart de celles situées dans la région en aval de Saint-Maurice apparaissent particulièrement favorables à ce genre de protection, et contrastent, par exemple, avec les communes d'Evolène et du Val d'Anniviers en général, qui n'ont entrepris aucune mesure de reboisement (ou d'une importance négligeable). Elles sont pourtant parmi les régions les plus touchées par les avalanches, comme l'ont entre autres démontré les cartes précédentes. Il est à nouveau possible que ces différences soient dues aux politiques locales, plus ou moins engagées dans la gestion des dangers.

Cette présentation de l'information sous forme de symbole ponctuel proportionnel permet premièrement de la spatialiser (un changement d'échelle permettant une localisation plus précise), mais aussi de visualiser le nombre de projets réalisés selon l'importance de leur périmètre. Afin de rendre cette dernière information plus communicative, il est néanmoins utile d'effectuer une carte synthétique du nombre d'hectares reboisés par commune, facilement réalisable sur ArcView : le logiciel offre en effet la possibilité d'appliquer diverses méthodes de classification ainsi qu'une symbolisation variée (gradation de couleurs, symboles proportionnels, diagrammes) pour représenter les divers thèmes spatiaux et attributaires. Nous avons adopté la méthode des « seuils naturels » pour ces deux cartes et la suivante, car elle permettait de ne pas englober les valeurs extrêmes avec d'autres notablement plus faibles. La distribution des valeurs est en effet toujours très irrégulière. Les seuils ont été fixés par observation des données (des sauts de valeur les plus importants), et en comparant notre version avec celle proposée par le logiciel ArcView.

L'observation des deux cartes permet de constater que les communes se différencient surtout quant à l'importance des projets et non quant à leur nombre. Une telle vision de l'ensemble des mesures sylvicoles à objectif de protection n'était auparavant pas possible, les données sur les hectares ne pouvant être extraites de la base Excel. Il est évident que de pareilles cartes peuvent être produites pour tous les autres types de réalisations.

Ces produits pourraient inviter le responsable des dangers naturels à inciter certaines communes à prévoir des mesures de protection pour les années à venir. Ceci ne sera néanmoins sûrement pas le cas en ce qui concerne les reboisements, le graphique exposant le peu d'importance que prend ce type de protection actuellement. Notons également que le responsable des dangers naturels n'est à ce jour pas chargé de cette fonction, la décision de mise en place de projets de défense se faisant au niveau des communes. On peut cependant imaginer qu'une

gestion globale des dangers, qui devrait être amenée par le SIRS DANA, amènera le report de ces décisions au niveau des spécialistes et responsables des dangers. Pour l'heure, ces cartes thématiques sur les ouvrages semblent surtout intéressantes à titre purement informatif et non pour une planification des futurs projets.

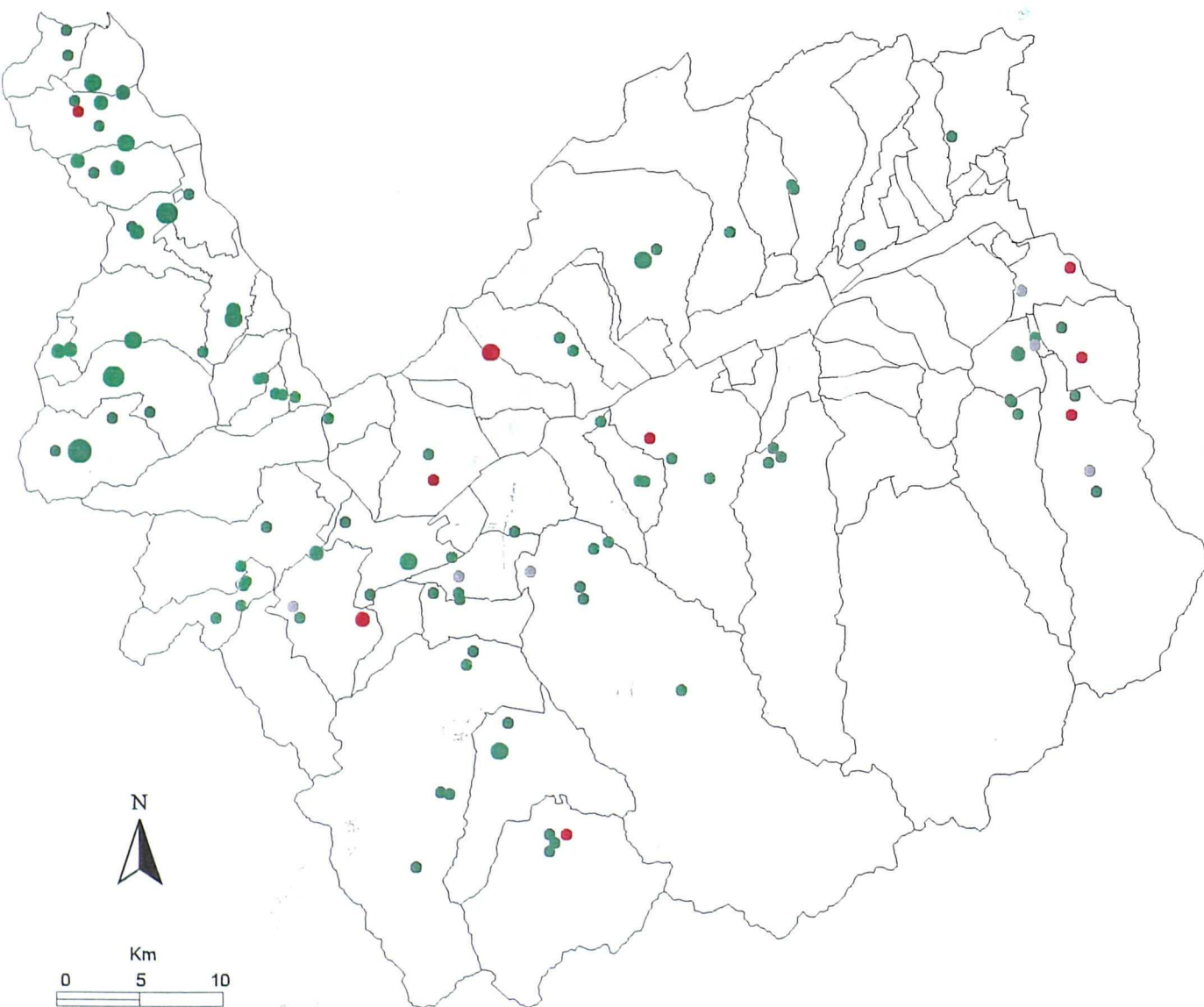
L'état des réalisations peut également être visualisé : dans l'exemple proposé, des couleurs différentes ont été attribuées aux divers degrés de réussite du reboisement des projets. Une visualisation de ces informations pourrait s'avérer utile pour une gestion de crise, en permettant de sélectionner les régions et avalanches relatives à des ouvrages ne remplissant plus parfaitement leur objectif de protection de départ.

D'importantes restrictions quant à la validité de la cartographie de ces informations sont posées par un manque de suivi des mesures de protection. Les données sur la réussite des reboisements et l'entretien des ouvrages n'ont pas été mises à jour et ne sont simplement pas disponibles au niveau des services cantonaux. Le périmètre reboisé ou construit n'est pas précis : nous avons par exemple relevé plusieurs remarques dans la base de données Excel mentionnant l'échec ou la destruction d'un reboisement. Cette information n'était pas intégrée au niveau des valeurs de quantité (nb ha/plants), car elle aurait faussé le rapport entre le devis et la réalisation initiale. On retrouve ici l'aspect de gestion de l'historique. Notons également que même si les reboisements sont à présent traités séparément des autres types de mesures, le symbole ponctuel les représentant correspond toujours au projet global et n'offre donc pas une visualisation précise de leur emplacement. Cet aspect restreint passablement la possibilité d'une gestion préventive des dangers d'avalanches. A mentionner que les reboisements réalisés dans le cadre de projets sylvicoles sont actuellement en cours de digitalisation, ce qui offrira une information beaucoup plus précise sur le nombre d'hectares boisés par commune, et permettra de mieux cibler les régions nécessitant un boisement ou un entretien.



# Valais romand – mesures sylvicoles

## Situation des reboisements par commune



### Hectares de reboisement

- < 3
- 3 - 17
- 17 - 35
- 35 - 100
- 100 - 300
- 300 - 400

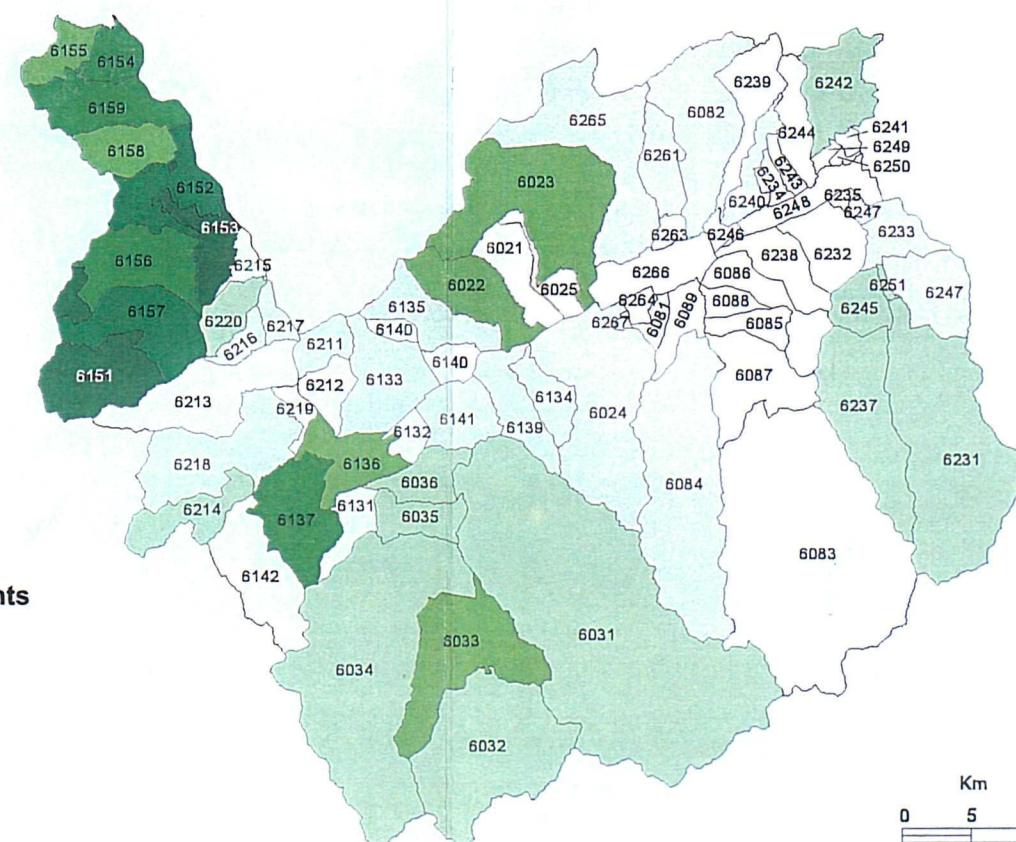
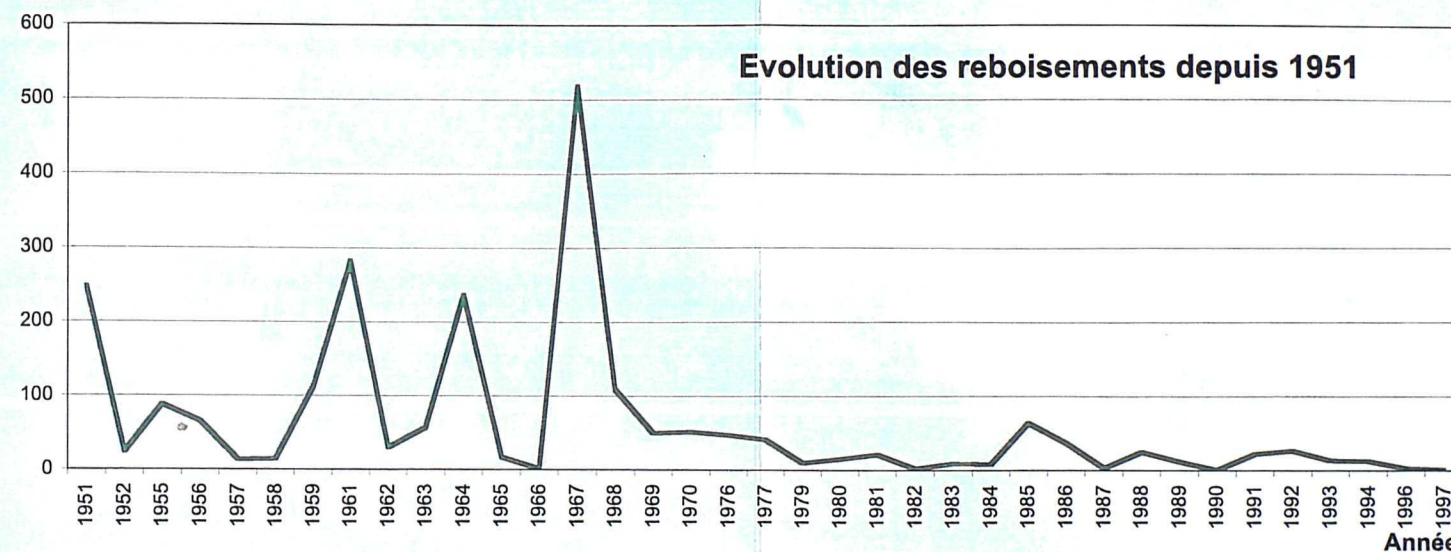
### Taux de réussite du reboisement

- Pas d'informations
- 1/3
- 2/3
- 3/3

### Superficie totale des reboisements par commune (ha)

- 0
- < 10
- 10 - 30
- 30 - 80
- 80 - 150
- 150 - 300
- > 300

### Hectares





### *Gestion des données financières sur les réalisations : total des devis par commune*

Cette carte thématique sur le total des devis des projets de défense entrepris par les diverses communes depuis 1946 permet à nouveau d'offrir une comparaison visuelle entre les diverses régions. Nous avons fixé les seuils définissant les diverses classes de manière à bien faire ressortir les communes de Bagnes et Ayer, qui ressortent de la masse avec un montant total de plus de 14.8 et 16.3 mio de francs respectivement. Mentionnons Salvan qui les suit avec une valeur de 9.6 mio. A noter cette fois qu'Evolène fait partie de celles ayant le plus investi dans la réalisation de mesures de protection.

De nombreuses autres cartes thématiques peuvent être effectuées. La localisation des divers types d'ouvrages selon des symboles différents est également possible mais est actuellement limitée par le fait qu'ils ne comportent pas leurs propres coordonnées. Précisons que ces informations peuvent aussi être synthétisées plus précisément sous forme de tableaux croisés par la base de données Access. Par exemple, il est ainsi possible d'accéder aux valeurs précises concernant la somme des devis par commune et par année, aux types et quantités d'ouvrages réalisés, etc. Une telle base offre des possibilités d'extraction pratiquement infinies, mais n'a certes pas les avantages d'une visualisation.





### *Gestion des réalisations en cours : état des coûts et importance des projets*

La présentation de l'état des devis des réalisations en cours sous forme de diagrammes offre une bonne vision d'ensemble. Elle permet au gestionnaire d'apprécier et contrôler l'avancement de l'ensemble des travaux, et de visualiser rapidement les projets qui ne feront plus partie du budget de subventionnement dans un futur proche. Il pourra évidemment accéder facilement aux données thématiques détaillées par sélection graphique. Nous avons également décidé de calibrer ces symboles selon le devis total des projets, afin de pouvoir les comparer selon leur importance.

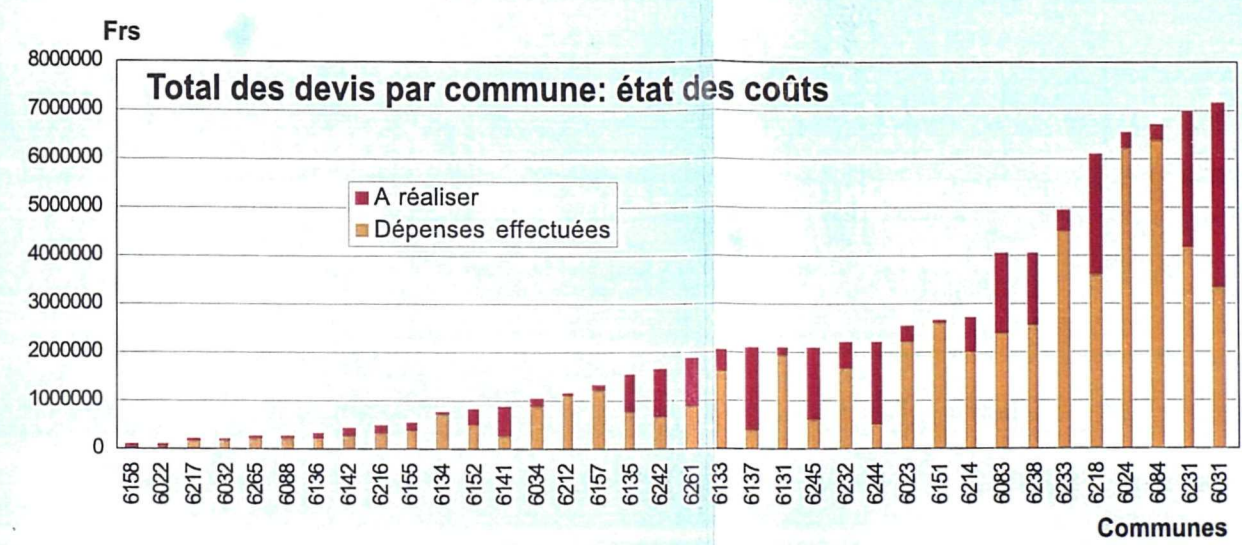
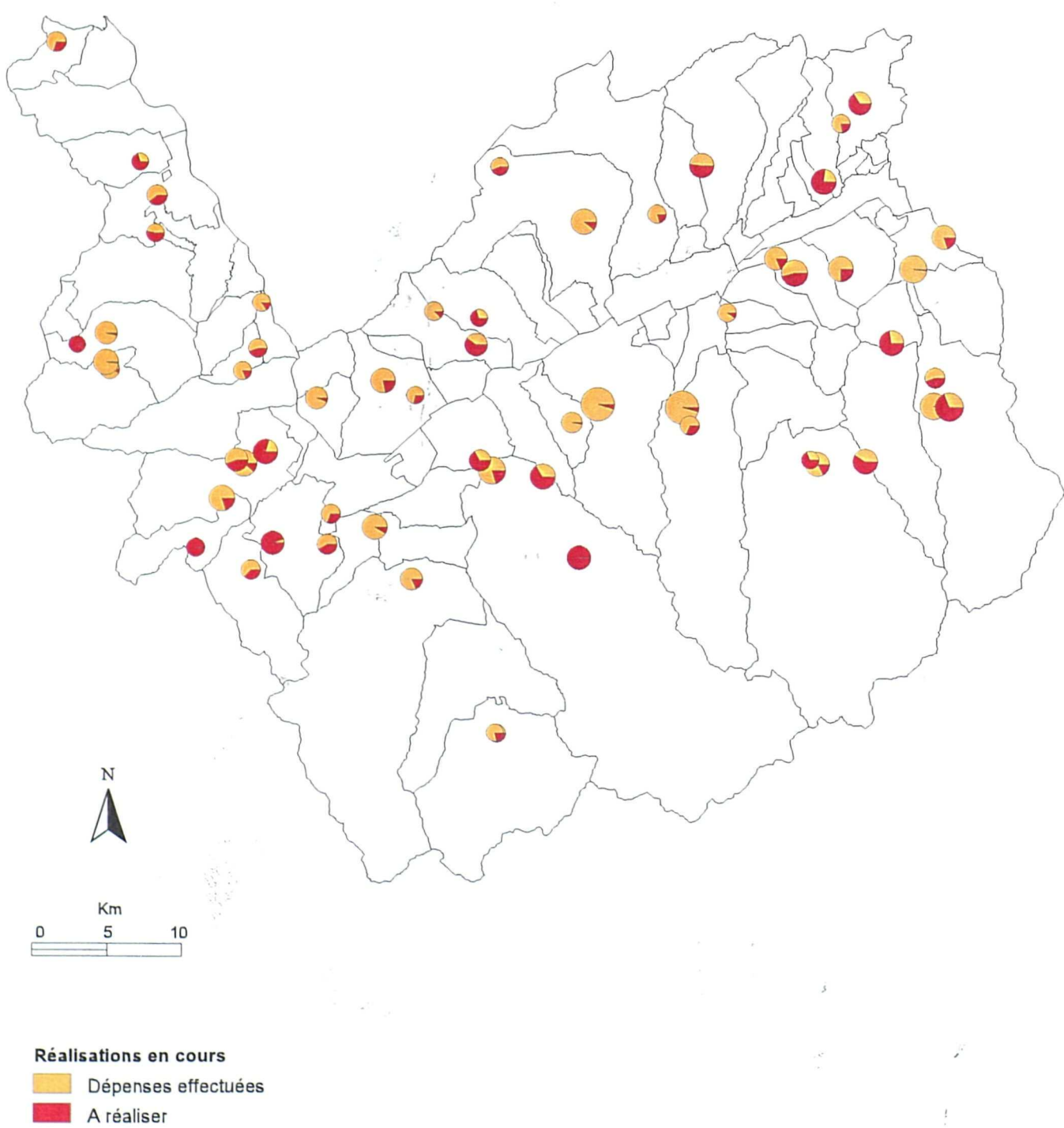
La version d'ArcView utilisée ne semble néanmoins pas offrir la possibilité d'afficher cette légende proportionnelle, problème qui devrait être résolu dans la prochaine version (selon A. CERRUTI). Bien qu'une légende incomplète soit intolérable du point de vue cartographique, il nous a semblé que cette information était quand bien même visuellement utile pour le gestionnaire. L'intégration d'un histogramme présentant le total des devis des réalisations en cours par commune permet de combler quelque peu ce manque d'information sur l'importance financière des divers projets au niveau de la légende, tout en mettant clairement en évidence les communes les plus engagées dans la mise en œuvre de mesures de protection à l'heure actuelle. A nouveau, ces informations ne pouvaient précédemment être extraites de la base de données Excel. Une combinaison SIRS - SGBD offre ainsi la possibilité de ne sélectionner qu'une partie de l'information attributaire selon des critères précis, de la synthétiser, et de la présenter de manière communicative en la localisant. La mise à jour des données sur ces projets en sera par conséquent également facilitée, du fait que seuls les en cours pourront être sélectionnés.

Afin de préciser leur importance selon leur objectif de protection, il est par exemple possible de ne mettre en évidence que ceux compris dans le périmètre d'une avalanche en conflit avec des infrastructures humaines. Pour ce faire, nous avons donc simplement sélectionné, premièrement, les périmètres d'avalanche intersectant des zones bâties ainsi que des routes cantonales, puis, les symboles ponctuels des projets situés dans leur périmètre (requête spatiale). La combinaison de ces informations sur l'état d'avancement des projets et sur l'importance du potentiel de risque de l'avalanche concernée permettrait d'assister le gestionnaire à la fixation des priorités.

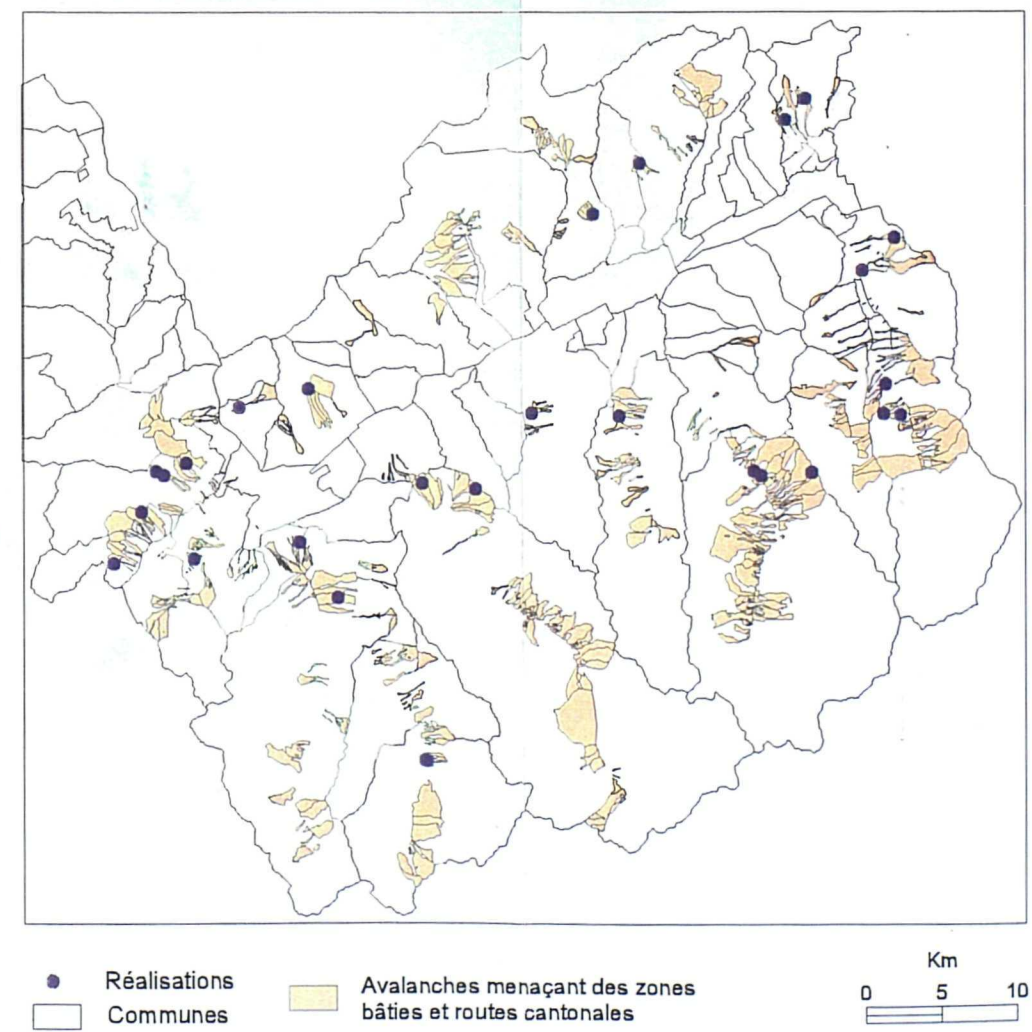


# Valais romand – projets de protection

Réalisations en cours: importance et état des coûts



Sélection des projets en cours à objectif de protection important





## **IV PARTIE CONCLUSIVE**

## 10 Synthèse générale

Au cours de cette étude, nous avons passé en revue de nombreux aspects concernant la gestion des dangers naturels et plus particulièrement des phénomènes d'avalanches en Valais. Elle a été présentée non seulement sous sa forme passée et présente, mais également selon les besoins de son évolution. Les divers problèmes rencontrés par la mise en place d'une telle gestion orientée vers l'intégration d'une globalité de facteurs ont été exposés. C'est en raison de ces perspectives de changements que des recherches ont été menées pour apporter de nouvelles méthodes de gestion et outils adaptés aux nécessités d'une gestion « intégrée ». Nous avons présenté qu'elles s'étaient entre autres tournées vers les technologies SIRS, ce qui semble relativement logique du fait que ces systèmes ont justement été créés pour permettre une prise en considération d'une quantité d'informations de sources et types différents. Rappelons que l'objectif de notre étude était de déterminer si la conception d'un SIRS sur les ouvrages de défense était pertinente et permettait de répondre aux nouvelles attentes des gestionnaires des dangers en raison de cette évolution. Nous allons à présent présenter une synthèse de nos réflexions et tâcher de répondre au mieux aux deux questions principales posées dans la problématique, soit : un « SIRS Réalisations » constitue-t-il premièrement un outil d'aide à la gestion, mais également un outil d'aide à la décision ?

Les recherches effectuées au cours de l'évaluation de la pertinence d'un tel système comprenant les données sur les ouvrages de défense ont mis en évidence de profondes contraintes imposées par la disponibilité et qualité des données, tant au niveau de leur précision que de leur pérennité. Nous avons vu que les avalanches sont un phénomène complexe de par une interaction de nombreux facteurs à l'origine de leur déclenchement. Leur potentiel de dommages varie également considérablement non seulement selon les caractéristiques spécifiques des différents couloirs, mais également selon le type et la quantité de neige mise en mouvement. Il est donc extrêmement difficile d'estimer les conséquences de ces événements sur les objets du territoire : de telles études doivent être réalisées au cas par cas pour qu'elles soient pertinentes et sont du ressort de spécialistes qui disposent d'outils permettant une modélisation des avalanches. Notons qu'elles restent néanmoins des évaluations et non des certitudes de par le caractère toujours imprévisible des avalanches. Le gestionnaire des dangers naturels, ni même les spécialistes, ne sont donc en mesure de procéder à une appréciation certaine des mesures de protection selon la réduction du risque apportée. Une évaluation de leur rentabilité pour permettre d'aider le responsable dans leur approbation et mise en place d'un ordre de priorités semble ainsi difficile. Il est également apparu relativement rapidement qu'un SIRS de bureau tel qu'ArcView ne pouvait apporter une réponse adéquate à ces attentes, surtout en l'état actuel des données.

Nous avons néanmoins pu réaliser une série de traitements et un éventail des produits pouvant être extraits a été présenté. Il s'agit à présent de les évaluer afin de déterminer la pertinence du SIRS Réalisations.



L'absence de véritables données spatiales sur les ouvrages et leur zone d'influence, dont l'acquisition est de plus problématique, limite considérablement la réalisation de traitements permettant une aide à la décision. Il est en effet impossible d'effectuer l'analyse spatiale qui serait nécessaire avec pour seule information graphique des symboles ponctuels géoréférencés. Les traitements offrant une appréciation des zones de déficit de protection et une comparaison de l'importance des divers projets quant à leurs objectifs de protection se restreignent ainsi à des simples requêtes spatiales au moyen d'opérateurs topologiques et booléens, qui ne peuvent offrir qu'une idée générale. Ils permettent néanmoins de faire la distinction entre les avalanches étudiées et concernées par des mesures. En réalisant ensuite une véritable production d'information au moyen d'une analyse spatiale avec les données graphiques sur les avalanches et les objets du territoire, il devient possible de cibler grossièrement les régions nécessitant la prise de mesure. Des données exactes sur la localisation des périmètres d'ouvrages par rapport aux divers couloirs valoriseront cette information. Elle restera néanmoins une évaluation imprécise qui ne semble pas offrir une véritable aide à la décision, que ce soit relativement au domaine de la protection et de la prévention contre les dangers d'avalanches.

L'éventail des produits proposé a mis en évidence la faible valeur décisionnelle des traitements, mais a au contraire permis de démontrer les apports notables d'un SIRS du point de vue de la gestion des projets de défense. A noter premièrement que l'aspect purement « gestionnel » des données se fait au niveau d'un SGBD relationnel (Access). C'est ce système qui structure l'information en tables et permet ainsi son stockage et la gestion d'un historique. Il offre également la possibilité de la synthétiser en la représentant sous forme de tableaux et de statistiques.

Le SIRS comporte néanmoins des avantages indéniables par rapport à un SGBD : il offre les moyens d'accéder aux données attributaires géoréférencées par sélection spatiale et de les représenter graphiquement. Il devient ainsi possible de visualiser toute une base de données, difficile à saisir dans son ensemble avec un simple tableau de valeurs. Les requêtes thématiques des logiciels SIRS permettent également une extraction plus facile de l'information selon des critères précis que les bases de données, qui sont plus complexes à exploiter et moins communicatives à l'utilisateur commun. Finalement, ils permettent de résoudre un des problèmes majeurs rencontrés dans la structuration de la base de données Access, qui ressort du lien entre les projets et les communes qui les ont entrepris. Les données sur ces dernières étant initialement liées à la relation sur les avalanches, tous les traitements offrant une information synthétique des réalisations par communes comportaient un biais important. La définition des relations spatiales apportée par les SIRS (emplacement des points des réalisations à l'intérieur des polygones des communes, relation d'inclusion) permet d'éviter tout problème de ce genre. Notons que nous avons néanmoins jugé utile d'ajouter une information sur les communes dans la relation Réalisations du SGBD afin de permettre une exploitation de ce logiciel sans fausser les résultats.

Si l'on ne considère le SIRS mis en place que relativement aux réalisations, les limitations imposées par les données en font un système principalement « informatif ». Il ne permet donc pas une action à proprement parler au niveau décisionnel. On pourrait ainsi le placer dans la classe des « logiciels de visualisation et consultation » proposée par RIEDO (1999)<sup>39</sup>. Néanmoins, au vu des remarques conclusives qui précèdent, l'intégration de ces données dans un SIRS nous semble pertinente. Elles amènent en effet une information de synthèse visuelle et ainsi communicative. Ceci quand bien même les traitements réalisables relèvent non pas de leur analyse mais principalement de leur gestion. A noter également que ce système devrait permettre une amélioration de la qualité des données à terme, en rendant possible une acquisition et mise à jour directement à la source des informations. De plus, ces données ne seront pas introduites dans un système à part entière, mais dans le SIRS Avalanches, qui lui se justifie pleinement au vu des données spatiales sur les avalanches (périmètres et cartes de danger).

A ajouter en guise de conclusion qu'il est essentiel de considérer le long terme et viser l'objectif d'une gestion intégrée des dangers. Par conséquent, la mise à disposition de ces données dans un SIRS s'impose, une telle gestion ne pouvant être appliquée avec des informations stockées et gérées séparément. Elle nécessitera en effet une consultation conjointe de l'ensemble des réalisations concernant tous les types de phénomènes. Ces systèmes constituent ainsi l'outil idéal pour permettre un tel regroupement de données provenant de sources différentes, de même que leur consultation simultanée par de multiples utilisateurs dispersés dans l'espace géographique. Ceci rejoint en totale conformité la définition des SIRS dont l'essence même les caractérise en tant que « systèmes d'information » à part entière.

---

<sup>39</sup> Se référer à la fig. 1, présentée dans le cadre du chapitre 5.1.4 sur la typologie des SIRS.



# Références bibliographiques - sources graphiques

## Bibliographie

- ANCEY C., CHARLIER C. (1996) : Quelques réflexions autour d'une classification des avalanches, *Revue de Géographie Alpine*, Grenoble, 96/1, 9-21.
- ARLETTAZ G. (1976) : Les transformations économiques et le développement du Valais, 1850-1914, in : Groupe valaisan de sciences humaines (ed.), *Développement et mutations du Valais, société et culture du Valais contemporain*, Sion, Série Travaux et recherches, N°2, 9-62.
- BAECHLER A. (1992) : *Géomorphologie générale*, matériaux pour les cours et séminaires n°27/2, UNIL/IGUL (non publié).
- BAILLY A. (1994) : Enseigner les risques naturels, in : CHAM's (ed.), *Enseigner les risques naturels. Pour une géographie physique revisitée*, Paris, Anthropos, GIP RECLUS, 173-185.
- BARRAS C.-V. (1987) : *Le développement régional à motricité touristique: de la région polarisée à la région-système*, Fribourg, ISES, Editions Universitaires Fribourg Suisse (Coll. « Documents économiques », n°33).
- BARRY R.G. (1992) : *Mountain weather and climate*, London, Routledge, 2<sup>nd</sup> ed.
- BERNARD M., BERNADAC R. (1991) : Mise en œuvre des systèmes d'information géographique : éléments de méthode, *Revue des sciences de l'information géographique et de l'analyse spatiale*, Paris, Hermès, 91/1-2, 139-151.
- BÉTRISEY G. (1976) : Le Valais face à l'aménagement du territoire, in : Groupe valaisan de sciences humaines (ed.), *Développement et mutations du Valais, société et culture du Valais contemporain*, Sion, Série Travaux et recherches, N°2, 207-242.
- BEZINGE A., BONVIN G. (1973) : Image du climat sur les Alpes, *Bull. de la Murithienne*, Sion, 74/91, 27-48.
- BISANG K. (2000) : *Historisches Screening institutioneller Regime der Ressource Wald (1870-2000)*, Chavannes-près-Renens, UER, working paper de l'IDHEAP, 2000/4.
- BOUËT M. (1985) : *Climat et météorologie de la Suisse romande*, Lausanne, Payot.
- BRIDEL L., DULEX PUTALLAZ, S., HEROLD-REVAZ, A. (1997) : Gestion du risque d'avalanche et action collective dans les Alpes suisses, *Revue de géographie alpine*, Grenoble, 98/2, 77-90.
- CALOZ R. (1999) : *Système d'information géographique*, notes de cours, Lausanne, UNIL/DGR-SIRS, non publié.

- CASTELLE T. et al. (1991) : *Protection des routes alpines contre les congères*, Lausanne, EPFL – LASEN/IHE, Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique, Office Fédéral des Routes.
- CERRUTI A. (1997) : *Système d'information à référence spatiale (SIRS) appliqué à la gestion des dangers d'avalanches*, Sion, conférence à Saas Fee, non publié.
- CHAMPOUX P., BÉDARD Y. (1992) : Notions fondamentales d'analyse spatiale et d'opérateurs spatiaux, *Revue des sciences de l'information géographique et de l'analyse spatiale*, Paris, Hermès, 1992, 2/2, 187-208.
- COAZ J. (1910) : *Statistik und Verbau der Lawinen in den Schweizeralpen*, Bern, Stämpfli & Cie.
- CREALP (2000) : *Projet SIRS DANA*, Sion, Etat du Valais (SRCE – SFP – SAT), dossier de choix, CREALP/00.14, non publié.
- de CRÉCY L. (1987) : La gestion patrimoniale vue par un gestionnaire, in : de MONTGOLFIER J., NATALI J.-M., *Le Patrimoine du Futur : Approches pour une gestion patrimoniale des ressources naturelles*, Paris, Economica, (Coll. « Economie agricole & agro-alimentaire »), 127-137.
- DENÈGRE J. (1992) : Nouvelles technologies au service de l'investigation géographique. Rôle de la télédétection spatiale et des systèmes d'information géographique, *Revue des sciences de l'information géographique et de l'analyse spatiale*, Paris, Hermès, 1992, 2/2, 139-49.
- DOURLENS C., GALLAND J.P., THEYS J., VIDAL-NAQUET P.A. (1991) : *Conquête de la sécurité, gestion des risques*, Paris, l'Harmattan, (Coll. « Logiques Sociales »), 11-41.
- DUFOUR F. (1999) : Avalanches 1999 : situation et conséquences, in : *Dangers naturels: La gestion des risques*, Fribourg, dpt. de génie civil, Ecole d'ingénieurs de Fribourg, « Journée d'étude », rapport n° GC-1999/4, 23-41.
- EGLI T. (1999) : *Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren. Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St.Gallen*, St. Gallen.
- ESRI (1996) : *Getting to Know ArcView : the geographic information system (GIS) for everyone*, New York, John Wiley & Sons.
- FALLOT J.-M. (2000) : *Cours de climatologie générale*, UNIL/IGUL, polycopié, non publié.
- GARDARIN G., VALDURIEZ P. (1987) : *Bases de données relationnelles : analyse et comparaison des systèmes*, Paris, Eyrolles, 2<sup>e</sup> éd.
- GAYTE O., LIBOUREL T., CHEYLAN J.-P., LARDON S. (1997) : *Conception des systèmes d'information sur l'environnement*, Paris, Hermès, (Coll. Géomatique).
- GOLAY F. (1999) : *Cadre méthodologique de conception des SIRS et aspects institutionnels des SIRS*, Lausanne/EPFL, Institut de géomatique, cours SIRS UNIL, non publié.
- GOUT J.-P. (1993) : *Prévention et gestion des risques majeurs : Les risques d'origine naturelle*, Paris, Les Editions de l'Environnement, 17-48 & 265-289.



- GREPPIN R. (1998) : *SIRS d'aide à la gestion des dangers naturels : Etat du Valais*, Lausanne, IME-DGR-EPFL, Diplôme du cours postgrade en ingénierie et management de l'environnement de l'EPFL spécialisation en SIRS, version revue et augmentée en octobre 1999, non publié.
- GRIMSHAW D.J. (1994) : *Bringing geographical information systems into business*, Essex, Longman Group Limited.
- HEROLD-REVAZ A., DULEX PUTALLAZ S., BRIDEL L. (1998) : *Représentations du risque d'avalanches et comportements sociaux dans deux communes valaisannes: Salvan et Evolène*, Rapport de travail PNR 31, Zürich, Vdf Hochschulverlag der ETH Zürich.
- JORDAN J.-P. (1999) : De juste une protection contre les crues à une protection juste, in : *Dangers naturels: La gestion des risques*, Fribourg, dpt. de génie civil, Ecole d'ingénieurs de Fribourg, « Journée d'étude », rapport n°GC-1999/4, 71-82.
- KORTE G.B. (1994) : *The GIS book*, Santa Fe, OnWord Press, 3<sup>rd</sup> ed.
- KRIPPENDORF J. (1987) : *Là-haut sur la montagne... Pour un développement du tourisme en harmonie avec l'homme et la nature*, Berne, Kümmerly & Frey, (Edition Géographique).
- KUNZ P. (1998a) : Impacts des changements climatiques sur la menace, le déclenchement et l'évolution des dangers naturels in : BADER S., KUNZ P., *Climat et risques naturels, la Suisse en mouvement*, Programme de recherche PNR 31, Vdf Hochschul-verlag an der ETH Zürich, Genève, Georg, 107-198.
- KUNZ P. (1998b) : Conséquences des changements climatiques et des catastrophes naturelles sur notre société et notre économie in : BADER S., KUNZ P., *Climat et risques naturels, la Suisse en mouvement*, Programme de recherche PNR 31, Vdf Hochschul-verlag an der ETH Zürich, Genève, Georg, 229-295.
- LEUENBERGER F. (1991) : *Manuel/Conseils pour la construction d'ouvrages temporaires paravalanches et de protection contre le glissement de la neige*, Davos, IFENA.
- LOUP B. (1999) : Problématique et prise en compte des dangers naturels en Suisse, in : *Dangers naturels: La gestion des risques*, Fribourg: dpt. de génie civil, Ecole d'ingénieurs de Fribourg, « Journée d'étude », rapport n°GC-1999/4, 1-22.
- MARGRETH S. (1996) : Experiences on the use and the effectiveness of permanent supporting structures in Switzerland, in: Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research (ed.) : *International Snow Science Workshop*, Canada, Banff.
- MULLON C., BOURSIER P. (1992) : Eléments pour une analyse critique des systèmes d'information géographique, *Revue des sciences de l'information géographique et de l'analyse spatiale*, Paris, Hermès, 1992, 2/2, 151-72.
- MÜLLER J.-C. (1992) : Sémiologie graphique dans et pour les SIG, *Revue des sciences de l'information géographique et de l'analyse spatiale*, Paris, Hermès, 1992, 1/2, 11-21.

- NATALI J.-M. (1987) : L'évolution des modes de gestion : la gestion des risques "naturels" en montagne, in : de MONTGOLFIER J., NATALI J.-M : *Le Patrimoine du Futur : Approches pour une gestion patrimoniale des ressources naturelles*, Paris, Economica, (Coll. Economie agricole & agro-alimentaire), 97-107.
- OFEFP, FNP (1990) : *Directives pour la construction d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement*, Berne, OFEFP, FNP.
- OFOR, OPC, OACOT (1999) : *Attention dangers naturels ! Responsabilité du canton et des communes en matière de dangers naturels*, Berne, OFOR, OPC, OACOT.
- OLLAGNON H. (1991) : Approche patrimoniale de la gestion du risque naturel, in : CEMAGREF (ed.), *Aspects socio-économiques de la gestion des risques naturels*, Gap, Série Etude montagne, n°2, 1992, 69-96.
- PAPILLOUD J.-H. (1976) : La population valaisanne à l'époque contemporaine, in : Groupe valaisan de sciences humaines(ed.) : *Développement et mutations du Valais, société et culture du Valais contemporain*, Sion, Série Travaux et recherches, N°2, 63-125.
- PARENT C. (1999) : *Introduction aux bases de données*, Lausanne, UNIL – HEC – INFORGE, cours SIRS, non publié.
- PHILLIPS M. (2000) : *Influences of snow supporting structures on the thermal regime of the ground in alpine permafrost terrain*, Davos, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung.
- PLANAT (1999) : *Rapport annuel*, [www.planat.ch](http://www.planat.ch).
- PLANAT (1999) : Planat : la plate-forme nationale "Dangers naturels" se présente », in : *Dangers naturels: La gestion des risques*, Fribourg, dpt. de génie civil, Ecole d'ingénieurs de Fribourg, « Journée d'étude », rapport n° GC-1999/4, 161.
- PLANAT (a) : *De la défense contre les dangers à la gestion du risque : PLANAT, la plate-forme nationale « Dangers naturels » se présente*, Berne, PLANAT.
- PORNON H. (1990) : *Systèmes d'information géographique : des concepts aux réalisations*, Paris, Hermès, Les Editions du STU.
- PORNON H.(1992) : *Les SIG: mise en oeuvre et applications*, Paris, Hermès, Traité des Nouvelles Technologies (Série Géographie assistée par ordinateur).
- PRÉLAZ-DROUX R. (1995) : *Système d'information et gestion du territoire: Approche systémique et procédure de réalisation*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, (Coll. META).
- REYNARD E., MANCH C., THORENS A. (2000) : *Screening historique des régimes institutionnels de la ressource en eau en Suisse entre 1870 et 2000*, Chavannes-près-Renens, UER, working paper de l'IDHEAP, 2000/6.
- RIEDO M. (1999) : *Technologies des systèmes d'information géographique*, Lausanne/EPFL, Institut de Géomatique, cours SIRS UNIL, non publié.
- ROUET P. (1991a) : *Les données dans les systèmes d'information géographique*, Paris, Hermès, Traité des Nouvelles Technologies, (Série Géographie assistée par ordinateur).



- ROUET P. (1991b) : Les SIG et Merise : questions et méthodes, *Revue des sciences de l'information géographique et de l'analyse spatiale*, Paris, Hermès, 1991, 1/2, 153-77.
- SALM B. (1983) : *Guide pratique sur les avalanches*, Brugg, CAS.
- SCHNEEBELI M., LATERNER M., FÖHN P., AMMAN W. (1998) : *Wechselwirkungen zwischen Klima, Lawinen und technischen Massnahmen*, Schlussbericht NFP 31, Zürich, Vdf Hochschulverlag der ETH Zürich.
- SEHAN J.F. (1997) : *Access 97: Notions de base*, Paris, Dunod.
- SFP (1996) : Communiqué de presse du 15 novembre 1996, « Protection contre les avalanches », et 19 novembre 1996, « Protection contre les avalanches. Le Valais joue la carte de la sécurité et de l'ouverture », Sion, Service des Forêts et du Paysage, Section dangers naturels.
- TESAR A. (1999) : *Les risques naturels dans le Val d'Anniviers: risques objectifs, perception et gestion*, UNIL/IGUL, Mémoire de licence, non publié.
- WEBER Christian (1991) : La délégation aux risques majeurs, in : CEMAGREF (ed.), *Aspects socio-économiques de la gestion des risques naturels*, Gap, Série Etude montagne, n°2, 1992, 9-17.
- WEBER Christiane (1991) : Les systèmes d'information géographique : une mode ou un nouveau concept pour l'aménagement de l'espace ?, *Revue des sciences de l'information géographique et de l'analyse spatiale*, Paris, Hermès, 1991, 1/1, 11-21.
- WERLEN C. (2000) : exposé sur Les forêts de protection, conférence de presse « Bilan des dangers naturels en Valais en 1999 du 2 mai 2000 », Sion, non publié.
- WILHELM C. (1997) : *Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz: Methodik und Erhebungen zur Beurteilung von Schutzmassnahmen mittels quantitativer Risikoanalyse und ökonomischer Bewertung*, Davos, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Mitteilungen SLF, Nr. 54.
- WUILLOUD C. (1990) : *Responsabilités et compétence en matière de la sécurité hivernale*, rapport non publié
- WUILLOUD C. (1995) : *Convention entre l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (FNP) et le Canton du Valais dans le but de renforcer les recherches dans le domaine des dangers naturels en Valais et d'augmenter ainsi la sécurité publique*, Service des forêts et du paysage, Sion, rapport non publié.
- WUILLOUD C. (1996) : *Mesures de défense contre les avalanches en Valais*, Sion, Service des forêts et du paysage, rapport non publié.
- WUILLOUD C. (1997) : *Réalisation des ouvrages de défense en Valais dès 1950*, Sion, Service des forêts et du paysage, rapport non publié.
- WUILLOUD C. (1999a) : Avalanches en Valais – Hiver 1998/1999: gestion de la crise et conséquences, in : *Dangers naturels: La gestion des risques*, Fribourg: dpt. de génie civil, Ecole d'ingénieurs de Fribourg, « Journée d'étude », rapport n°GC-1999/4, 43-56.

- WUILLLOUD C. (1999b) : *Nouvelle gestion de la sécurité en Valais; Projet pilote du Mattertal / Isérables et Nendaz*, Journée de l'institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches, SWISS ALPINA, Service des forêts et du paysage, Sion, non publié.
- WUILLLOUD C. (2000) : Exposé de Charly Wuilloud, chef de la section dangers naturels au Service des forêts et du paysage, Conférence de presse « Bilan des dangers naturels en Valais en 1999 du 2 mai 2000 », Sion, non publié.
- WUILLLOUD C. (c) : *Tout savoir sur la lutte contre les avalanches en Valais*. Sion, Département de l'environnement et de l'aménagement du territoire, Service des forêts et du paysage, rapport non publié.

## Sources des données graphiques utilisées

Extrait de cartes topographiques au 1/25'000, en format image, Office fédéral de topographie :

- 1345 Orsières
- 1326 Rosablanche

ArcView shapes, en format vectoriel :

- cadastre des avalanches, Service des forêts et du paysage (SFP), Valais ;
- limites communales, Géostat ;
- plans d'affectation des zones homologués, Service de l'aménagement du territoire (SAT), Valais ;
- routes cantonales, Service des routes et des cours d'eau (SRCE), Valais.

## ANNEXES

## Annexe 1 - Inventaire des ouvrages de défense initial (1990), exemple de fiche (Excel)

### INVENTAIRE DES OUVRAGES DE DEFENSE EN VALAIS

**Remarque:** Sous les rubriques "hauteur des ouvrages (Dk)", "hauteur vire vents", "hauteur paroi à vent", "hauteur mur", "hauteur digue (en pierre, en terre ou métallique)" il faut indiquer la hauteur des ouvrages dominants.

Arrondissement: \_\_\_\_\_

Commune / Bourgeoisie: \_\_\_\_\_

Nom du projet: \_\_\_\_\_

Objet menacé:      bâtiment ☐  
                          transport ☐  
                          zone agricole/forêt ☐

Projet:                défense contre avalanches ☐  
                          reboisement ☐  
                          chutes de pierre ☐  
                          glissement de terrain ☐  
                          torrents ☐

Coordonnées:                XXXXXX  
                           X-Coord.      altitude max. :  m s.m.  
                           Y-Coord.      exposition        
 No de l'avalanche :   
 (cadastre cantonale)

No du projet (cantonal):       date d'approbation

No du projet (fédéral):       date d'approbation

Surface totale du projet  ha

Carte des dangers:      existante ☐ date: .....  
                          non existante ☐

Avalanches calculées ☐ date: .....  
 Avalanches non calculées ☐



**Ouvrages de défense,  
Genre de construction:**

			Etat des ouvrages		
m'	Dk	type	bon	moyen	insuffisant
		Claies métalliques			
à assainir					
		Claies en aluminium			
à assainir					
		Ouvrages mixtes			
à assainir					
		Râtelier en bois			
à assainir					
		Filets			
à assainir					
		Vire vents	nombre	hauteur(m)	
à assainir		nombre	hauteur(m)		
		Paroi à vent	longueur(m)	hauteur(m)	
à assainir		longueur(m)	hauteur(m)		
		Mur	m'	m3	hauteur(m)
à assainir		m'	m3	hauteur(m)	
		Galeries	m'		
à assainir		m'			
		Digue d'arrêt			
		Digue de déviation			
		en pierre	m3	hauteur(m)	longueur(m)
à assainir		m3	hauteur(m)	longueur(m)	
		en terre	m3	hauteur(m)	longueur(m)
à assainir		m3	hauteur(m)	longueur(m)	
		métalliques	m3	hauteur(m)	longueur(m)
à assainir		m3	hauteur(m)	longueur(m)	
		Bermes	m'		
à assainir		m'			
		Reboisement	ha	nombre/ha	nombre total essence
			0	1/3	2/3
		Reussite du reboisement			
		Caissons en bois	m3		
à assainir		m3			

Devis du projet:	<input type="text"/>	Fr.	Etape 1 / date:	<input type="text"/>
			Etape 2 / date:	<input type="text"/>
			Etape 3 / date:	<input type="text"/>
			Etape 4 / date:	<input type="text"/>
			Etape 5 / date:	<input type="text"/>
Coûts de réalisation:	<input type="text"/>	Fr.	Etape 6 / date:	<input type="text"/>
Réalisé	<input type="text"/>	%	Etape 7 / date:	<input type="text"/>
A réaliser	<input type="text"/>	Fr.	Etape 8 / date:	<input type="text"/>
			Etape 9 / date:	<input type="text"/>
			Etape 10 / date:	<input type="text"/>

**Objets protégés:**

Bâtiments

Bâtiments habités      nombre dans la zone rouge   
    nombre dans la zone bleu

Ecuries, Granges      nombre dans la zone rouge   
    nombre dans la zone bleu

Bâtiments publiques      nombre dans la zone rouge   
    nombre dans la zone bleu

Routes

Nationale       m'  
 Cantonale       m'  
 Communale       m'

Chemins de fer       m'

Forêts       ha

Zones agricoles       ha

Remarques:

.....
.....
.....

## Annexe 2 – Cadastre des avalanches 2000 : Description, Événement, Réalisation, exemple de fiche (Access)

<b>Cadastre des avalanches: Description</b>						
Avalanche	1	Grand Châble				
Arrondissement:	7	Commune:	142	Orsières		
No carte nationale:	1345	Coordonnées Y / X:	577320	/	93020	
Type d'avalanche	couloir					
<b>Zones:</b>						
Type de zone	Caractéristique	H minimum	H maximum	Exposition	Vent dominant	
<b>Conflits:</b>						
	Type	Quantité	Unité	Remarque		
<b>Dégats:</b>						
	Année	Genre de dégats		Nombre	Unité	
<b>Ouvrages protégés:</b>						
Nom de la réalisation	No projet (CH)	Année	Type zone	Type_protection	Nombre	Unité
<b>Etudes:</b>						
No	Type d'étude	Auteur(s)	Date	Calc.	Remarque(s)	

Annexe 2 - Cadastre des avalanches 2000, exemple de fiche (Access)

<b>Cadastre des avalanches: Evénement</b>				
Avalanche(s) concernée(s):	No avalanche	Nom local	Commune	Ardt
Identificateur:	1			
Date de l'événement:	01.01.62		Heure de l'événement:	
			Année de l'événement:	1962
Date enregistrement:				
Responsable:				
Source d'information:				
<b>Météo:</b>				
Genre de météo:				
Exposition:	#Erreur			
Coulée d'avalanche:				
Avalanche poudreuse:	<input type="checkbox"/>			
<b>Zone de déclenchement:</b>				
Altitude de la zone:	0			
Exposition de la zone:	#Erreur			
Largeur moyenne (m):	0		Largeur maximale (m):	0
Hauteur moyenne (m):	0		Hauteur maximale (m):	0
Trajectoire de la coulée:				
<b>Dépôts:</b>				
Avancée maximale (Y/X):	0	/	0	
Largeur maximum (m):	0			
Hauteur maximum (m):	0			
Cartographié:	<input type="checkbox"/>			
<b>Dégâts:</b>				
Genre de dégât			Nbre	Unité
<b>Remarques:</b>				
	bei HintereLöcher			
Documentation:				
Note: une carte à l'échelle 1/10'000 doit obligatoirement accompagner ce document !				



Annexe 2 - Cadastre des avalanches 2000, exemple de fiche (Access)

<b>Cadastre des avalanches: Réalisation</b>
---

Identificateur du projet	103				
Nom du projet	FOGE III				
Avalanches concernées	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; border-bottom: 1px solid black;">No avalanche</td> <td style="width: 25%; border-bottom: 1px solid black;">Nom local</td> <td style="width: 25%; border-bottom: 1px solid black;">Commune</td> <td style="width: 25%; border-bottom: 1px solid black;">Ardt</td> </tr> </table>	No avalanche	Nom local	Commune	Ardt
No avalanche	Nom local	Commune	Ardt		

**Objets menacés:**

**Projet:**

	Cantonal	Fédéral
Numéro du projet		231 - VS -349
Date du projet	02.10.68	12.11.68
Année du projet		1968
Coordonnées (Y/X/Z)	563'000 / 120'500 / 950	
Surface totale (hectares)	26	Exposition
Date début et fin	/	En cours: <input type="checkbox"/>
Auteur(s) du projet		

**Cartes des dangers:**

Carte danger: <input type="checkbox"/>	Date carte:
Avalanche calculée: <input type="checkbox"/>	Date calcul:

**Ouvrages de défense:**

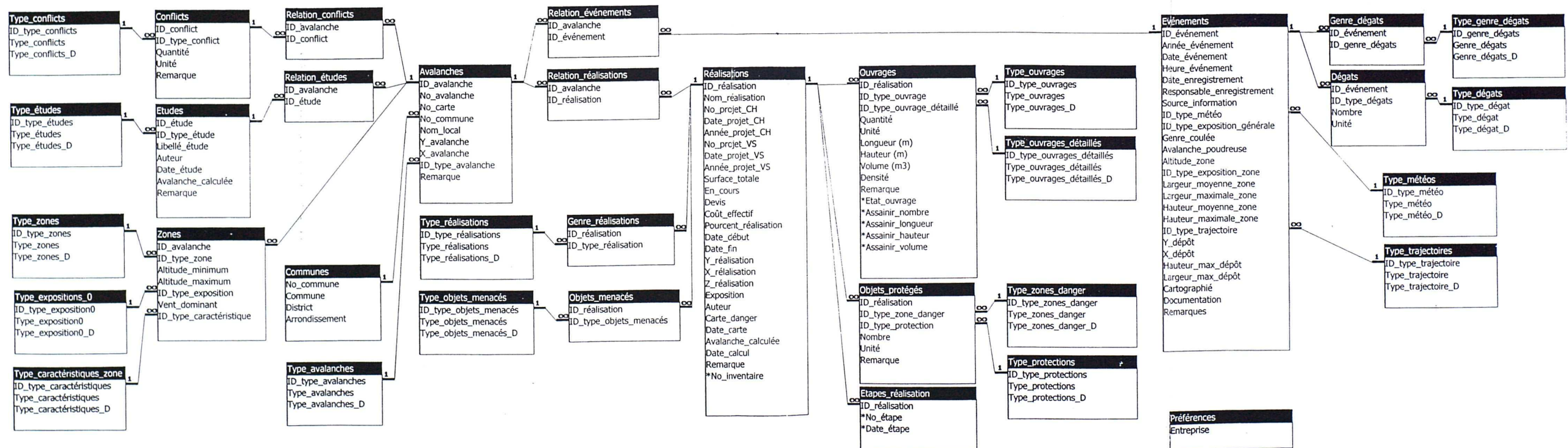
	Ouvrage(s)	Type	Nbre	Unité	L (m)	H (m)	V (m3)	Densité
--	------------	------	------	-------	-------	-------	--------	---------

<b>Coûts:</b>	Devis	Coût effectif	%	Solde
	70'000.00	70'000.00	100	0.00

	Type d'objet	Nbre	Unité	Zone
--	--------------	------	-------	------

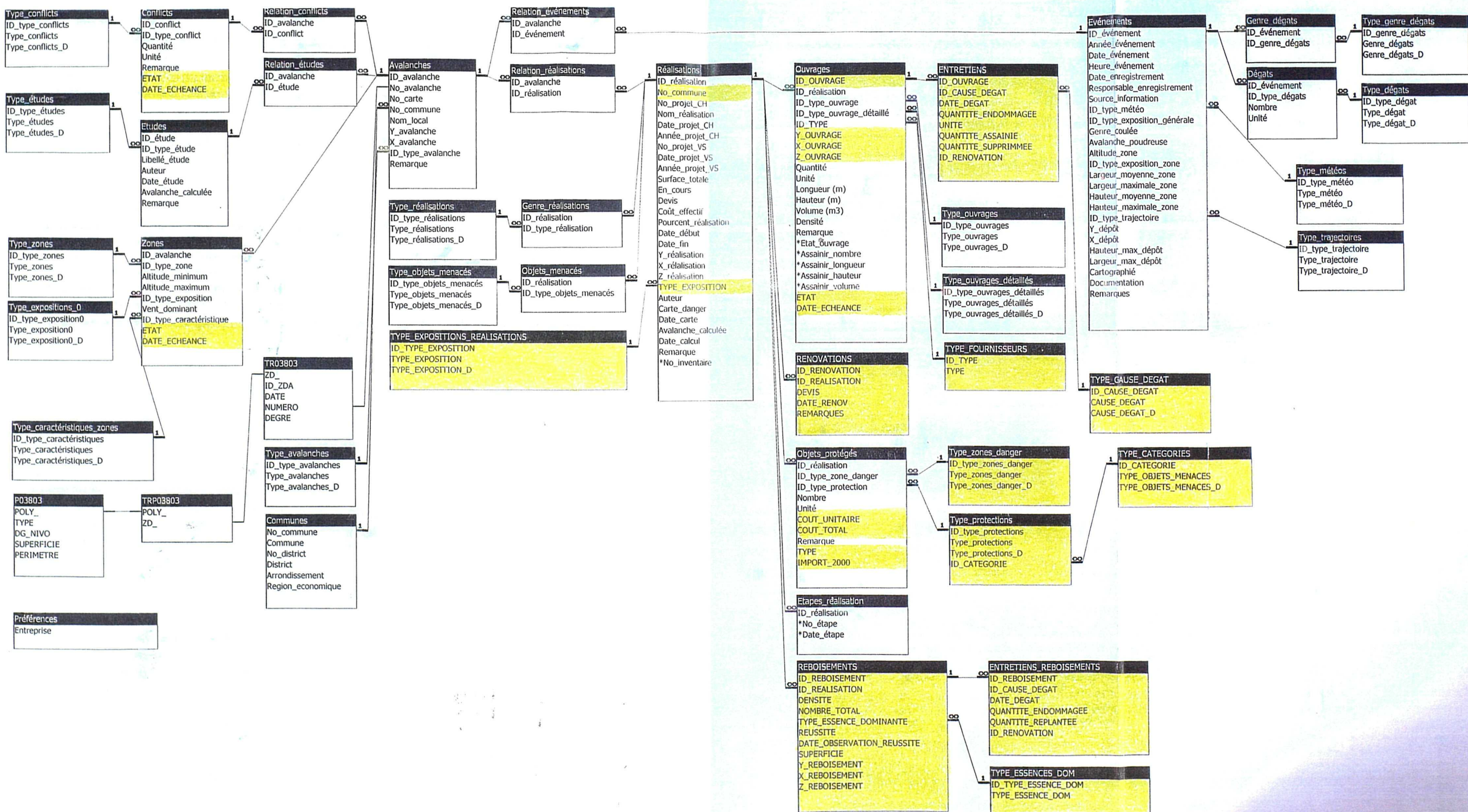
**Remarques:**

### Annexe 3 - Modèle logique de données initial du SIRS Avalanches





## Annexe 4 – Modèle logique de données modifié du SIRS Avalanches (2001)





## Annexe 5 – Lois fédérales

### Loi fédérale du 22 juin 1979 sur l'aménagement du territoire (LAT) – RS 700, RO 1979 1573

#### Art. 6 - Etudes de base

1. En vue d'établir leurs plans directeurs, les cantons déterminent dans les grandes lignes le cours que doit suivre l'aménagement de leur territoire.
2. Ils désignent les parties du territoire qui:
  - c. Sont gravement menacées par des forces naturelles ou par des nuisances (...).

### Loi fédérale du 4 octobre 1991 sur les forêts (LFO) – RS 921.0, RO 1992 2521

#### Art. 1 – But

1. La présente loi a pour but:
  - a. d'assurer la conservation des forêts dans leur étendue et leur répartition géographique;
  - b. de protéger les forêts en tant que milieu naturel;
  - c. de garantir que les forêts puissent remplir leurs fonctions, notamment leurs fonctions protectrice, sociale et économique (fonctions de la forêt);
  - d. de maintenir et promouvoir l'économie forestière.
2. Elle a en outre pour but de contribuer à protéger la population et les biens d'une valeur notable contre les avalanches, les glissements de terrain, l'érosion et les chutes de pierres (catastrophes naturelles).

#### Art. 19

Là où la protection de la population ou des biens d'une valeur notable l'exige, les cantons doivent assurer la sécurité des zones de rupture d'avalanches ainsi que des zones de glissement de terrains, d'érosion et de chutes de pierres et veiller à l'endiguement forestier des torrents. Des méthodes aussi respectueuses que possible de la nature doivent être utilisées.

#### Art. 35 – Principes

1. Dans les limites des crédits alloués, la Confédération encourage les mesures visant à conserver les forêts et à protéger la population ainsi que les biens d'une valeur notable contre les catastrophes naturelles, de même que la formation professionnelle, la recherche et la collecte de données.
2. La Confédération peut lier ses prestations financières aux conditions suivantes:
  - a. les cantons doivent participer aux frais selon leur capacité financière;
  - b. le bénéficiaire doit, dans chaque cas, fournir une prestation propre adaptée à ses moyens, aux efforts personnels qu'on est en droit d'attendre de lui ainsi qu'aux autres sources de financement dont il pourrait disposer; (...)

#### Art. 36 - Protection contre les catastrophes naturelles

La Confédération alloue des indemnités jusqu'à concurrence de 70 pour cent des frais occasionnés par l'exécution de mesures ordonnées pour protéger la population et les valeurs matérielles considérables contre les catastrophes naturelles, par exemple:

- a. la construction et la remise en état d'ouvrages et d'installations de protection;
- b. la création et le traitement de jeunes peuplements ayant une fonction protectrice particulière;
- c. l'établissement de cadastres et de cartes des dangers, l'aménagement et l'exploitation de stations de mesures ainsi que la mise sur pied de services d'alerte, pour assurer la sécurité des agglomérations et des voies de communication.

#### Art. 37 - Prévention et réparation des dégâts aux forêts

La Confédération alloue des indemnités jusqu'à concurrence de 50 pour cent des frais occasionnés par l'exécution de mesures ordonnées pour prévenir et réparer les dégâts aux forêts, par exemple:

- b. la réparation de tels dommages et de dégâts causés par des catastrophes naturelles ainsi que les exploitations forcées qui en résultent.



## **Ordonnance du 30 novembre 1992 sur les forêts (OFor) - RS 921.01, RO 1992 2538**

### **Art. 15 - Documents de base**

1. Les cantons établissent les documents de base pour la protection contre les catastrophes naturelles, en particulier les cadastres et cartes des dangers.  
(...)
3. Ils tiennent compte des documents de base lors de toute activité ayant des effets sur l'organisation du territoire, en particulier dans l'établissement des plans directeurs et d'affectation.

### **Art. 16 - Services d'alerte**

1. Dans les endroits où la protection de la population et de valeurs matérielles considérables l'exige, les cantons instituent des services d'alerte. Ils pourvoient à l'aménagement et à l'exploitation des stations de mesure et des systèmes d'information nécessaires.
2. Lors de la mise sur pied et de l'exploitation des services d'alerte, les cantons tiennent compte des travaux exécutés par les services spécialisés de la Confédération et de ses directives techniques.

### **Art. 17 - Sécurité des territoires dangereux**

1. La sécurité des territoires dangereux comprend:
  - a. des mesures sylvicoles;
  - b. des constructions pour empêcher les dégâts d'avalanches et exceptionnellement l'aménagement d'installations pour le déclenchement préventif d'avalanches;
  - c. des mesures concomitantes dans le lit des torrents, liées à la conservation des forêts (endiguement forestier);
  - d. des travaux contre les glissements de terrain et le ravinement, les drainages nécessaires et la protection contre l'érosion;
  - e. des travaux de défense et ouvrages de réception contre les chutes de pierres et de rochers, ainsi qu'à titre exceptionnel le minage préventif de matériaux risquant de tomber;
  - f. le transfert, dans des endroits sûrs, de constructions et d'installations menacées.
2. Les travaux doivent être combinés, dans la mesure du possible, avec des mesures d'ingénierie biologiques et sylvicoles.
3. Les cantons veillent à une planification intégrale; celle-ci tiendra compte en particulier des intérêts de la gestion forestière, de la protection de la nature et du paysage, de la construction hydraulique, de l'agriculture et de l'aménagement du territoire.

### **Art. 42 - Protection contre les catastrophes naturelles**

1. Des mesures de sécurité dans les territoires dangereux (...) seront indemnisées (...) si:
  - a. il ressort d'un cadastre, d'une carte ou d'une zone de dangers, que des vies humaines ou des biens de valeur notable sont menacés dans un territoire déterminé;
  - b. un projet approuvé par le canton est présenté, avec devis et garantie de financement.
2. Comme mesures sylvicoles, (...), on ne tiendra compte que de la création de forêt ou des soins aux jeunes peuplements sur des pentes où il pourrait y avoir un risque direct d'avalanche, de glissement de terrain, d'érosion, de coulée de boue ou de chute de pierres, menaçant des personnes ou des biens de valeur notable (forêt remplissant une fonction protectrice particulière).
3. L'indemnité pour la construction de galeries protégeant des voies de communication non forestières est allouée selon les conditions du premier alinéa et selon le tableau (...).
4. Aucune indemnité ne sera versée pour:
  - a. les mesures visant à protéger les bâtiments et installations construits, sans nécessité absolue, dans des zones de danger ou des endroits réputés dangereux;
  - b. les mesures visant à protéger des installations touristiques telles que chemins de fer, remonte-pentes, pistes de ski alpin ou de ski de fond.

### **Art. 43 - Cartes de dangers, stations de mesure, services d'alerte**

1. L'établissement de cadastres et de cartes de dangers, l'aménagement et l'exploitation de stations de mesure ainsi que la mise sur pied de services d'alerte seront indemnisés selon le tableau (...).
2. Le canton veille à ce que les cadastres et cartes de dangers, ainsi que les données des stations de mesure et celles des systèmes d'information, soient mis à la disposition de l'office fédéral, sur demande.

## **Annexe 6 – Lois cantonales**

### **Constitution du Canton du Valais du 8 mars 1907 – RS 101.1, RO/VS 1907 215**

#### **Art. 69**

Les communes sont autonomes dans le cadre de la Constitution et des lois. Elles sont compétentes pour accomplir les tâches locales et celles qu'elles peuvent assumer seules ou en s'associant avec d'autres communes.

### **Loi forestière du 1<sup>er</sup> février 1985 – RS 921.1, RO/VS 1985, 33**

#### **Art. 1 - But et champ d'application**

##### **1. La présente loi a pour but:**

- a. la conservation des forêts et la garantie des soins nécessaires au maintien et à l'amélioration de leurs fonctions protectrice et sociale (...).

#### **Art. 5 - Arrondissements**

1. Le Conseil d'Etat répartit le territoire cantonal en arrondissements forestiers.
2. Le nombre et l'étendue de ceux-ci doivent être fixés de manière à permettre aux inspecteurs forestiers de remplir soigneusement les tâches qui leur sont confiées. Le territoire d'une commune municipale est attribué à un seul arrondissement.
3. Les inspecteurs forestiers d'arrondissement veillent à l'application des législations forestières fédérale et cantonale et conseillent les communes, propriétaires forestiers et gardes forestiers dans tous les domaines de l'économie et de la technique forestière.

#### **Art. 11 - Reboisement**

1. Dans la mesure du possible, le propriétaire forestier reboisera, dans un délai raisonnable, les trouées dues aux éléments naturels, ou celles causées par les coupes, conformément aux caractéristiques du milieu naturel.
2. En cas de dégâts forestiers extraordinaires, les projets de reconstitutions nécessaires doivent être établis sans retard d'entente avec le Service forestier.

#### **Art. 24 - Principes de gestion**

2. Les forêts publiques doivent être entretenues et gérées de manière à fournir un rendement économique soutenu, en respectant les exigences de leurs fonctions protectrice et sociale.

#### **Art. 32 - Améliorations forestières**

1. Le canton encourage les améliorations forestières suivantes en octroyant (...) une subvention de 10 à 25% pour:
  - a. les ouvrages de défense, notamment dans la zone de déclenchement des avalanches, des torrents et des glissements de terrain;
  - b. la création de nouvelles forêts et de brise-vent, y compris les mesures techniques appropriées;
  - c. les bois renversés et reconstitution de forêts et d'ouvrages forestiers détruits par les éléments naturels (...).

#### **Art. 33 - Subventions aux forêts protectrices**

1. Pour autant que la production et l'exploitation soient effectuées de façon rationnelle et économique, le canton et les communes municipales contribuent à l'entretien des forêts protectrices en octroyant des subventions pour:
  - a. les soins culturaux;
  - b. les coupes sanitaires déficitaires.
2. La subvention cantonale est de 20 à 60% des frais calculés après déduction des recettes et des subventions fédérales. La part des communes municipales sur le territoire desquelles se trouvent les forêts est de 20 à 40%.
3. Dans des cas de rigueur, le canton prend à sa charge totalement ou partiellement la participation des communes en situation financière précaire.



**Art. 35 - Entretien d'ouvrages subventionnés**

1. Les bénéficiaires de l'aide financière du canton et de la Confédération, de même que leurs successeurs sont tenus d'entretenir dûment les ouvrages subventionnés et de les utiliser selon leur affectation.
2. Lorsque l'entretien d'un ouvrage subventionné est manifestement négligé, le Département peut ordonner la remise en état aux frais de l'intéressé ou exiger la restitution des subventions versées.
3. En cas de changement d'affectation, les subventions doivent être restituées totalement ou partiellement par le propriétaire. Cette obligation s'éteint trente ans après la présentation du décompte final. L'obligation de l'entretien ou la restitution des subventions peut faire l'objet d'une inscription au registre foncier.

**Art. 36 - Constructions en zone dangereuse**

Le canton peut refuser de participer aux mesures de protection des constructions contre les dégâts naturels lorsqu'il n'a pas été suffisamment tenu compte, dans l'utilisation du sol, de l'existence de dangers potentiels, ou lorsque les intéressés n'ont pas tenu compte des cartes de danger ou des mises en garde des autorités.

**Art. 41 - Cadastre des avalanches et chutes de pierres**

Les communes municipales dressent, en collaboration avec le Service forestier et les milieux intéressés, un cadastre des avalanches et chutes de pierres contenant le registre et la description des avalanches et chutes de pierres connues.

**Art. 42 - Cartes de danger**

1. La carte de danger détermine les régions menacées en utilisant les données du cadastre des avalanches et chutes de pierres.
2. Les communes municipales en ordonnent l'établissement sous le contrôle du Service forestier.
3. Les cartes de danger doivent être prises en considération lors de l'aménagement du territoire ainsi que lors de la procédure d'autorisation des constructions et autres installations, à l'échelon municipal et cantonal.

**Loi du 23 janvier 1987 concernant l'application de la loi fédérale sur l'aménagement du territoire - RS 701.1, RO/VS 1988, 1**

**Art. 2 - Principes**

1. Les autorités chargées des tâches d'aménagement veillent, en particulier:
  - b. à réduire les disparités régionales et à favoriser le maintien de la population dans son lieu d'habitat;
  - c. à sauvegarder les terres productives et les mayens;
  - e. à coordonner les activités ayant un effet sur l'organisation du territoire.
2. Elles respectent les principes de l'aménagement du territoire et collaborent étroitement entre elles.

**Art. 11 - Plan d'affectation des zones**

1. Les communes établissent pour l'ensemble du territoire communal un plan d'affectation des zones définissant au moins les zones à bâtir (art. 15 LAT), les zones agricoles (art. 16 LAT) et les zones à protéger (art. 17 LAT).
3. Elles prévoient à titre indicatif les zones régies par la législation spéciale, notamment l'aire forestière, les zones de danger, de nuisances et de protection des eaux.

**Art. 31 - Zones de danger**

1. Les zones de danger comprennent les portions du territoire qui sont d'expérience exposées aux catastrophes naturelles ou qui sont de manière prévisible menacées par de telles catastrophes (avalanches, instabilités de terrain, inondations ou autres dangers naturels).
2. Aucune construction ne peut être autorisée dans ces zones si son implantation est de nature à mettre en danger les personnes, les animaux et d'autres biens importants.
3. Les portions du territoire qui, en raison de leur exposition aux dangers des éléments naturels, ne peuvent être bâties ou qui ne peuvent l'être que dans une mesure réduite, doivent être indiquées dans le plan d'affectation des zones comme zones de danger.

## **Annexe 7 - Lois cantonales spécifiques à une gestion de crise**

### **Loi du 2 octobre 1991 sur l'organisation en cas de catastrophes et de situations extraordinaires - RS 501.1, RO/VS 1992, 87**

#### **Art. 1 - But**

1. La présente loi a pour but d'organiser, de coordonner et de préparer les mesures en cas de catastrophes et de situations extraordinaires, puis d'assurer leur mise en oeuvre en état de nécessité.

#### **Art. 2 - Tâches**

La tâche fondamentale est notamment, dans le respect du principe de la subsidiarité:

- a. d'assurer le fonctionnement des institutions politiques et des services publics aux niveaux du canton, du district et de la commune municipale, ainsi que l'entraide intercantonale et transfrontalière;
- b. de garantir l'activité gouvernementale, la sécurité et l'ordre public, l'alarme et l'information des autorités et de la population, ainsi que l'exécution des tâches déléguées par la Confédération;
- c. d'assurer l'approvisionnement, la protection, le sauvetage et l'assistance des personnes et des biens.

#### **Art. 6 - Principe**

1. L'organisation de conduite comprend:

- a. un état-major civil de conduite (EMCC) avec sa cellule de secours pour le cas de catastrophe (CECA) et les organes techniques de coordination;
- b. les états-majors de conduite de district;
- c. les états-majors de conduite communaux ou intercommunaux.

2. Le Conseil d'Etat, le préfet ou le conseil communal désigne à l'avance ou de cas en cas, en principe sur la proposition de l'état-major, un chef de l'intervention responsable de l'engagement des moyens dans un secteur sinistré.
3. Le Conseil d'Etat édicte les dispositions nécessaires pour l'organisation, la coordination, les attributions et les modalités de travail.

#### **Art. 7 - Etat-major civil de conduite (EMCC)**

1. L'EMCC est l'organe de conduite du Conseil d'Etat, qui en désigne le chef et les membres.
2. L'EMCC établit les bases de décision nécessaires à l'activité gouvernementale et soutient le Conseil d'Etat pour la direction, la coordination et l'exécution des mesures.
3. La mise en fonction est ordonnée par le Conseil d'Etat, à défaut par son président ou l'un de ses membres ou, si ceux-ci ne sont plus en mesure de remplir leur mandat, par le chef EMCC.

#### **Art. 8 - Cellule catastrophe (CECA)**

1. La CECA est un groupe permanent de l'EMCC, chargé notamment de tâches de planification et de mesures d'urgence.
2. La CECA est dirigée par le commandant de la police cantonale.

#### **Art. 10 - Etat-major de district**

1. Chaque district dispose d'un état-major de conduite chargé d'assurer la conduite régionale ainsi que des tâches extraordinaires spécifiquement attribuées par le Conseil d'Etat.
3. La mise en fonction est décidée par le préfet ou ordonnée par le Conseil d'Etat.

#### **Art. 11 - Etat-major communal**

1. Le conseil municipal crée un état-major local afin d'assurer la préparation et la conduite à l'échelon communal. L'organisation et les attributions sont fixées (...) conformément aux principes fixés par le Conseil d'Etat.
2. La mise en fonction est décidée par le président de commune ou ordonnée par le Conseil d'Etat, le chef EMCC ou le préfet concerné.



**Art. 14 - Canton et district**

1. Sous réserve du droit fédéral, le Conseil d'Etat peut engager de manière coordonnée l'ensemble des moyens et organisations du canton, sur demande de la commune ou lorsque la commune ou le district ne sont pas à même de maîtriser la situation ou lorsque les circonstances l'exigent.
2. Les moyens suivants sont notamment mis à disposition:
  - a. la police;
  - b. les corps de sapeurs-pompiers;
  - c. les centres de secours incendie et renfort chimique;
  - d. les organismes de la protection civile;
  - e. les organes de la santé publique;
  - f. les troupes cantonales et les troupes mises à disposition par la Confédération;
  - g. les organisations publiques et privées de secours.
3. Les préfets coordonnent l'engagement des moyens dans leur circonscription.

**Art. 19 - Service coordonné de l'information**

1. En état de nécessité sont responsables de l'information publique:
  - a. à l'échelon cantonal, le Conseil d'Etat;
  - b. à l'échelon du district, le préfet;
  - c. à l'échelon communal, le conseil municipal.
2. Les spécialistes de l'information soutiennent les autorités politiques susmentionnées pour la préparation et la diffusion des messages et directives destinés à la population. Ce service assure la liaison avec les médias, les organes spécialisés de la Confédération et des cantons voisins, ainsi qu'avec l'armée.

**Art. 23 - Préparation**

1. Le département compétent, en collaboration avec les autres départements concernés, les autorités des districts et des communes, est notamment chargé:
  - a. de mettre en place les organes de conduite du canton;
  - b. de coordonner la planification et la préparation des mesures de protection, de secours et d'assistance sur le plan cantonal, avec les cantons voisins et la Confédération;
  - e. d'informer la population sur les dangers possibles et les mesures de protection;

## **Règlement d'exécution de la loi sur l'organisation en cas de catastrophes et de situations extraordinaires (LOCS) du 4 novembre 1992 - RS 501.100, RO/VS 1992, 465**

### **Art. 6 - Etat-major civil de conduite (EMCC)**

1. L'EMCC est structuré conformément à un organigramme approuvé par le Conseil d'Etat. Il est composé de fonctionnaires de l'administration cantonale ainsi que des spécialistes et du personnel d'exploitation nécessaires.

### **Art. 7 - Cellule catastrophe (CECA)**

1. La CECA est composée du commandant de la police cantonale, du chef du Service de la sécurité civile et militaire, du chef du Service des routes et des cours d'eau, du chef du Service de la protection de l'environnement, du chef du Service de la santé publique, du chef de l'information de l'Etat du Valais, d'un représentant de la Commission cantonale des dangers naturels, du chef de l'Office cantonal et du remplaçant du chef de l'EMCC. Elle peut s'articuler en sous-groupes. D'entente avec le chef du département concerné, il peut être fait appel à d'autres spécialistes.
2. La CECA, en sa qualité d'élément permanent de l'EMCC, est chargée des tâches suivantes:
  - a. Apprécier les menaces possibles de catastrophes d'origine naturelle, technique ou humaine et conseiller les autorités et les organisations quant aux mesures de prévention et de sécurité en relation avec un danger majeur. Cette activité se fait en collaboration avec les services cantonaux compétents, les autorités des districts et des communes, ainsi qu'avec les entreprises;
  - b. Planifier les décisions réservées, préparer et arrêter les mesures d'urgence, en collaboration avec les offices cantonaux compétents, les autorités des districts et des communes, ainsi qu'avec les entreprises;
  - c. Arrêter les mesures d'urgence à prendre lors d'une situation de catastrophe ou extraordinaire, notamment
    - alerter les autorités et leurs organes de conduite en cas de danger imminent d'accident majeur ou de catastrophe;
    - alarmer et prendre les mesures d'urgence pour assurer la protection des personnes, des biens d'importance vitale et des biens culturels;
    - assurer la liaison entre les chefs de l'intervention sur les places sinistrées, le commandement de la police et le chef EMCC;
    - proposer au chef EMCC les mesures de protection et de secours complémentaires.
    - ordonner l'évacuation des personnes en dehors de zones déclarées dangereuses.
  - d. Renseigner et/ou alerter le chef EMCC et les autorités.
3. Pour l'exécution des tâches précitées, la CECA dispose de la section planification et de la centrale d'engagement de la police cantonale.
4. La mise de piquet ou la mise sur pied de la CECA est ordonnée par le commandant de la police cantonale ou sur demande de l'un de ses membres.

### **Art. 9 - Etat-major de district**

1. Chaque district constitue un état-major de conduite, composé au maximum d'un chef d'état-major et de dix spécialistes, ainsi que du personnel d'exploitation indispensable (...).
2. En état de nécessité, le préfet assure la liaison avec le Conseil d'Etat et son EMCC (CECA) ainsi qu'avec les communes de la circonscription. Il garantit la coordination intercommunale et interdistrict.
3. En collaboration avec l'office cantonal, le préfet établit les cahiers des charges ainsi que les directives fixant les modalités de mise en fonction, de travail et d'exploitation.

### **Art. 10 - Etat-major communal**

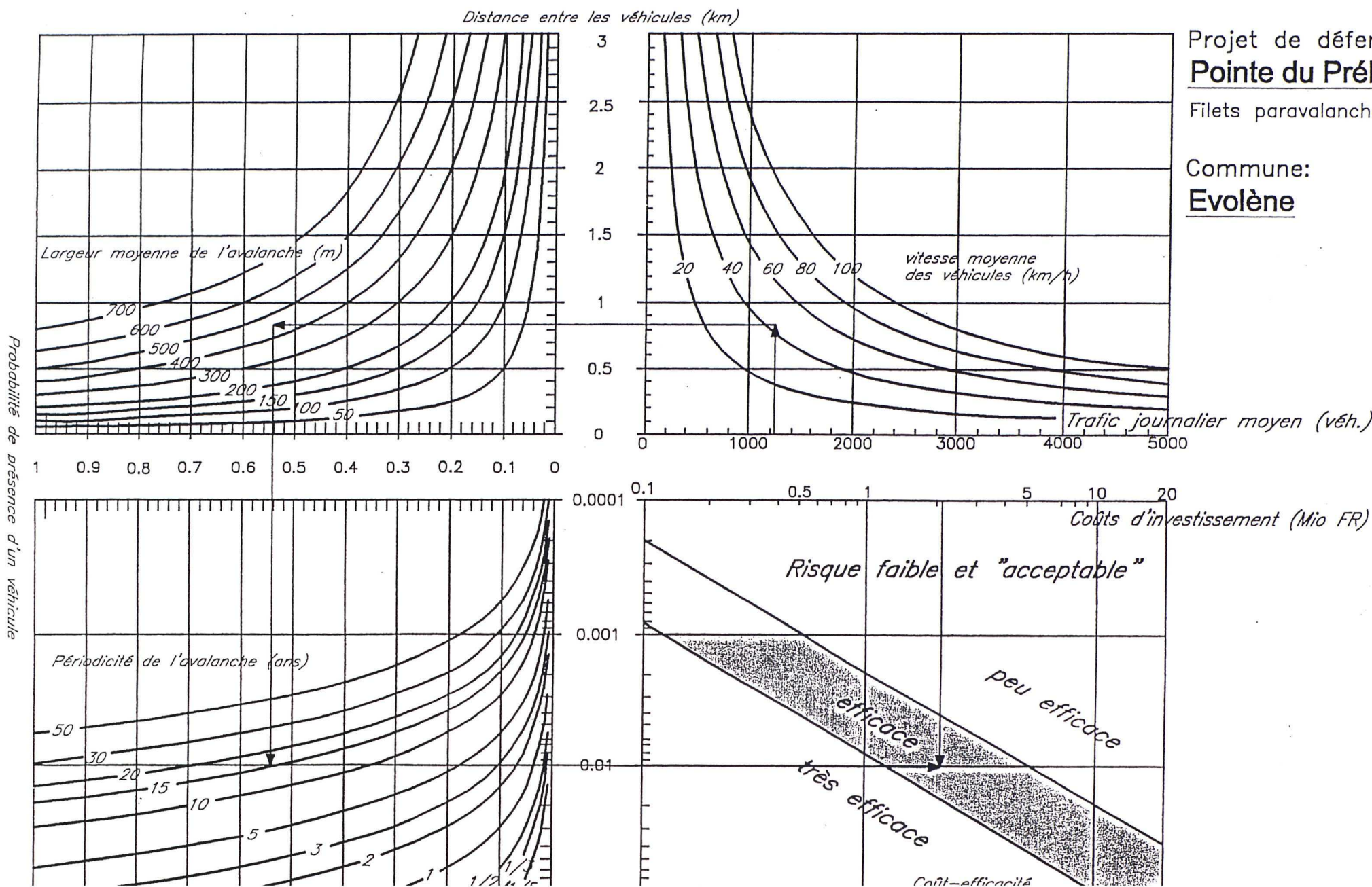
1. Les communes de 5000 habitants et plus sont tenues de constituer un état-major de conduite complet pour assister le conseil municipal dans la préparation et la mise en oeuvre des mesures de protection, de secours et d'assistance.
2. Les communes de moins de 5000 habitants constituent des organes de conduite réduits, en considération des conditions géographiques et des besoins spécifiques du temps de paix et du temps de service actif.
3. L'organisation et l'effectif des organes de conduite communaux sont fixés en considération des dangers potentiels et des besoins spécifiques (...).



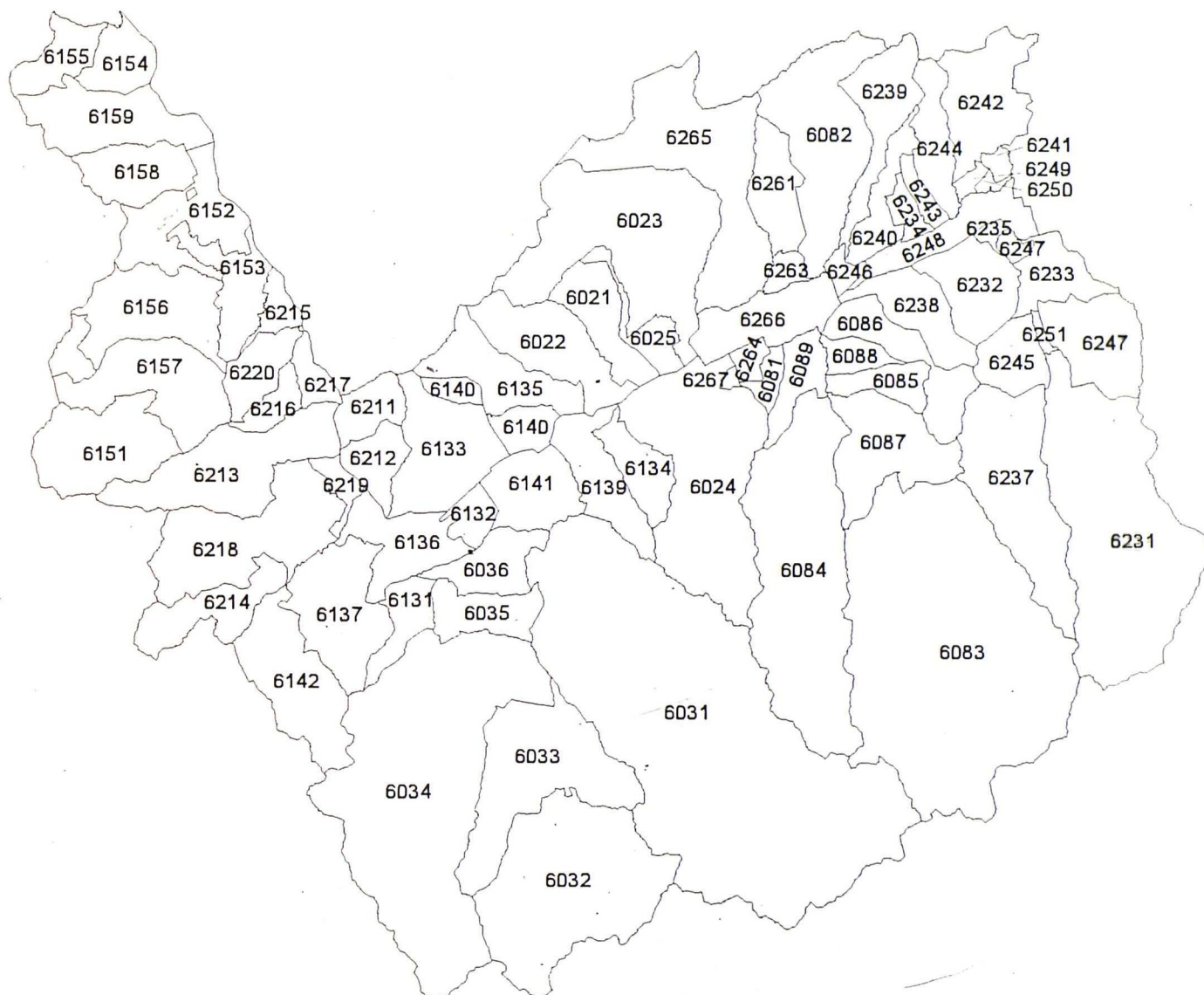
Projet de défense:  
**Pointe du Prélet**

Filets paravalanches

Commune:  
**Evolène**



## Communes étudiées



District Conthey	6088	Vernamiège	6157	Val-d'Illeiez	6238	Grône
6021 Ardon	6089	Vex	6158	Vionnaz	6239	Icogne
6022 Chamason			6159	Vouvry	6240	Lens
6023 Conthey	District Martigny				6241	Miège
6024 Nendaz	6131	Bovernier	District St-Maurice		6242	Mollens
6025 Vétroz	6132	Charrat	6211	Collonges	6243	Montana
	6133	Fully	6212	Dorénaz	6244	Randogne
District Entremont	6134	Isérables	6213	Evionnaz	6245	Saint-Jean
6031 Bagnes-Commune	6135	Leytron	6214	Finhaut	6246	Saint-Léonard
6032 Bourg-Saint-Pierre	6136	Martigny	6215	Massongex	6247	Saint-Luc
6033 Liddes	6137	Martigny-Combe	6216	Mex	6248	Sierre
6034 Orsières	6139	Riddes	6217	Saint-Maurice	6249	Venthône
6035 Sembrancher	6140	Saillon	6218	Salvan	6250	Veyras
6036 Vollèges	6141	Saxon	6219	Vernayaz	6251	Vissoie
	6142	Trient	6220	Vérossaz		
District Hérens						
6081 Les Agettes	District Monthey		District Sierre		District Sion	
6082 Ayent	6151	Champéry	6231	Ayer	6261	Arbaz
6083 Evolène	6152	Collombey-Muraz	6232	Chalais	6263	Grimisuat
6084 Hérémence	6153	Monthey	6233	Chandolin	6264	Salins
6085 Mase	6154	Port-Valais	6234	Chermignon	6265	Savièse
6086 Nax	6155	Saint-Gingolph	6235	Chippis	6266	Sion
6087 Saint-Martin	6156	Troistorrents	6237	Grimentz	6267	Veysonnaz